www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Jaargang 19, 1957, no. 10 blz. 289-324 Verschenen 15 januari 1958

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

EEN MEET-, REGEL- EN BEVEILIGINGSINSTALLATIE VOOR EEN KERNREACTOR VAN HET BASSINTYPE

II. NADERE BESPREKING VAN ENIGE ONDERDELEN

door F. E. L. ten HAAF, G. KLEIN en F. J. SCHIJFF. 621.316.7:621.039.4

Bij het ontwerpen van de elektronische hulpapparatuur voor een kernreactor komt men voor problemen te staan die dikwijls aanzienlijk verschillen van wat men in de elektronentechniek gewend is, en waarvoor dus nieuwe oplossingen gevonden moeten worden. Enige van zulke vraagstukken, die hieronder worden behandeld, zijn de volgende: 1) een schakeling te vinden waarbij over een gebied van vele decades een logaritmische betrekking tussen twee elektrische grootheden bestaat, 2) een indicator voor gammastralen te construeren die zowel een directe aflezing van de doseringssnelheid geeft als in staat is, zo nodig de kernreactor stop te zetten, en 3) een beveiligingssysteem te ontwerpen dat „fail-safe" is, d.w.z. zodanig dat bij allerlei inwendige storingen de veiligheid niet in gevaar komt.

Een kernreactor behoeft voor meet-, regel- en beveiligingsdoeleinden een uitgebreide, grotendeels elektronische, hulpapparatuur. Ook de reactor die deze zomer op de tentoonstelling „Het Atoom" te Amsterdam in werking te bezichtigen was, en die zijn definitieve bestemming zal vinden in de Technische Hogeschool te Delft, heeft zulk een apparatuur. Een algemene beschrijving daarvan is te vinden in deel I van dit artikel [1]).

Op een drietal onderdelen van deze installatie willen wij hier nader ingaan, en wel op: 1) het logaritmische meetkanaal voor sterke neutronenflux, 2) de gamma-indicator, en 3) de beveiligingsversterkers.

Het logaritmische meetkanaal voor sterke neutronenflux

De logaritmische neutronenflux- en periodemeter type PW X081 (*fig. 1*), aangesloten op een bij de kernreactor geplaatste ionisatiekamer, is naar zijn functies te splitsen in:

a) een logaritmische versterker,
b) een „periodeversterker",
c) een relaistrap, en
d) verschillende ijkinrichtingen.

De logaritmische versterker moet een uitgangsspanning geven die evenredig is met de logaritme van de stroom van de ionisatiekamer, dus met de logaritme van de neutronenflux in de reactor. Genoemde uitgangsspanning doet een meter uitslaan die voorzien is van een logaritmische schaal op basis 10. De schaal, geijkt in procenten van de maximaal toelaatbare neutronenflux, loopt van 10^{-4} % tot 300 % en beslaat dus $6\frac{1}{2}$ decade. Een aansluiting voor een registrerend instrument is aanwezig.

In de periodeversterker wordt de uitgangsspanning van de logaritmische versterker gedifferentieerd en het resultaat versterkt. Zo wordt een spanning verkregen die omgekeerd evenredig is met de „periode" (tijdconstante) T van de kernreactie.

Immers, bij exponentieel met de tijd t veranderende neutronenflux N:

$$N = N_0 \, e^{t/T},$$

levert de logaritmische versterker een spanning evenredig met $\ln N$, dus evenredig met (const. $+ t/T$), en door differentiëren krijgt men dus een spanning evenredig met $1/T$.

[1]) M. van Tol, Een meet-, regel- en beveiligingsinstallatie voor een kernreactor van het bassintype, I. Algemene beschrijving, Philips techn. T. **19**, 253-265, 1957 (no. 9).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

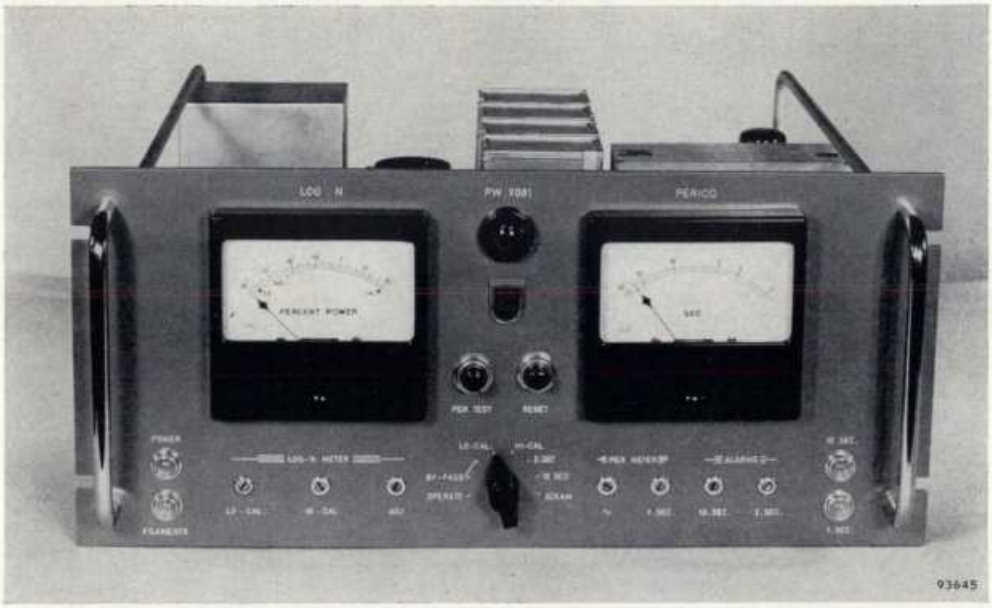


Fig. 1. Het paneel PW X081 van het logaritmische meetkanaal voor sterke neutronenflux. Links de neutronenfluxmeter, met logaritmische schaal van 10^{-4}% tot 300%; rechts de periodemeter, met schaal van −300 via ∞ tot 3 seconden. Onder de meters: de met een schroevedraaier verstelbare correctieweerstanden; daartussenin een schakelaar met zeven standen (één meetstand en zes ijk- en controlestanden).

T is direct af te lezen op een meter die daartoe van een reciproke schaal is voorzien en in seconden is geijkt. De schaal loopt van −30 seconden via oneindig tot +3 seconden (zie fig. 10 van deel I). Ook hier kan een registrerend instrument worden aangesloten.

Behalve aan deze meters wordt de uitgangsspanning van de periodeversterker toegevoerd aan een relaistrap. Hierin bevinden zich twee relais, die in werking komen zodra de periode korter wordt dan 10 resp. 3 seconden. De relaiscontacten zorgen ervoor dat de nodige waarschuwingssignalen worden gegeven en dat in de besturing van de reactor wordt ingegrepen: neemt de periode af tot 10 seconden, dan heeft dit tot gevolg dat de regelstaaf en de veiligheidsstaven dieper in de reactorkern dalen. Daardoor wordt de vermenigvuldigingsfactor k van de neutronen kleiner. Wanneer de periode desondanks blijft afnemen en tot 3 seconden daalt, vallen de veiligheidsstaven naar beneden, waardoor de kettingreactie geen voortgang kan vinden.

Met behulp van een schakelaar en een drukknop kan men bepaalde standaardsignalen aan de ingang toevoeren en daarbij de uitslag van de beide meters controleren. Afwijkingen zijn te corrigeren door een aantal potentiometers te verstellen.

De logaritmische versterker

Een sedert lang bekend schakelelement met logaritmische karakteristiek is de thermische diode. In een zeker gebied — aangeduid als het aanloopstroomgebied — bestaat hierbij tussen de stroom I en de spanning V het volgende verband:

$$I = I_0 \exp \frac{eV}{k\Theta} . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Hierin is I_0 een voor de katode karakteristieke grootheid; e stelt de lading van het elektron voor, k de constante van Boltzmann, en Θ de absolute temperatuur van de katode. Verg. (1) vloeit voort uit het feit dat de elektronen een snelheidsverdeling volgens Maxwell hebben. Het gebied van stromen waarin (1) geldig is, wordt naar beneden begrensd door de kwaliteit van het vacuüm en van de isolatie, en naar boven door het optreden van ruimtelading.

Schrijft men (1) als volgt:

$$V = \frac{k\Theta}{e} \ln I - \frac{k\Theta}{e} \ln I_0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

dan blijkt dat men, door de spanning V over de diode te meten, een logaritmische indicatie van de stroom I door de diode krijgt. In de praktijk bedraagt de verandering van V ca. 0,2 V wanneer I met een factor 10 verandert.

De betrekking tussen V en I ligt echter alleen vast indien de katodetemperatuur Θ constant is. Vooral de tweede term in het rechterlid van (2) is gevoelig voor veranderingen van Θ, doordat ook I_0 met Θ toeneemt. De gloeispanning van de diode moet dus zeer goed gestabiliseerd worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men kan aan deze grote gevoeligheid voor gloeispanningsveranderingen ontkomen door gebruik te maken van een triode in plaats van een diode. Bij de triode bestaat in het aanloopstroomgebied een verband tussen roosterspanning en roosterstroom dat analoog is aan dat tussen spanning en stroom van de diode. In het algemeen geldt verder voor een triode:

$$\delta I_a = S\,\delta V_g + \frac{S}{\mu}\,\delta V_a, \quad \ldots \quad (3)$$

waarin I_a de anodestroom, V_g de roosterspanning, V_a de anodespanning, S de steilheid en μ de versterkingsfactor voorstellen. Bij constante anodespanning geldt dus:

$$\delta I_a = S\,\delta V_g.$$

Ook tussen I_a en I_g bestaat derhalve een logaritmisch verband, althans voor zover S in het beschouwde gebied constant is. In de praktijk beslaat dit gebied ca. drie decades.

Om de invloed van een verandering in de katodetemperatuur op de werking van de schakeling te leren kennen, denken we de gloeispanning iets verhoogd en beschouwen we de anodestroom terwijl de roosterstroom constant wordt gehouden. Analoog met het geval van de diode, heeft door de verhoging van de katodetemperatuur zowel I_g als I_a neiging toe te nemen. Daar echter I_g constant wordt gehouden, moet de roosterspanning sterker negatief worden, en dit doet I_a weer verminderen. I_a ondergaat dus zowel een toenemende als een afnemende invloed. Uit een nadere beschouwing blijkt dat deze invloeden elkaar grotendeels compenseren, zodat door gloeispanningsvariaties de anodestroom niet noemenswaardig verandert. Men kan hier dus met een ruwe stabilisering van de gloeispanning volstaan.

Een andere mogelijkheid om met een triode een logaritmische karakteristiek te krijgen, is dat men, in plaats van de anodestroom te meten bij constante anodespanning, de anodespanning meet bij constante anodestroom, als functie van de roosterstroom. In dat geval is $\delta I_a = 0$, zodat (3) overgaat in

$$\delta V_a = -\mu\,\delta V_g.$$

Voor zover μ constant is (welk gebied groter is dan dat waarin S constant is), bestaat er dus evenredigheid tussen δV_a en $\ln(\delta I_g)$. Op een wijze die analoog is met die welke zoëven werd beschreven, treedt weer compensatie voor gloeispanningsveranderingen op. Als stroombron van I_a kan een weerstand R_a dienen die groot is ten opzichte van de inwendige weerstand μ/S van de triode, en die met een punt van vaste positieve spanning is verbonden (*fig. 2*), zoals dat ook gebruikelijk is bij spanningsversterkers.

Een buis die zeer goed in de laatstgenoemde schakeling voldoet, is de pentode E 80 F, als triode geschakeld. De anodespanning van deze buis verandert ca. 4 V per decade roosterstroomverandering. Het is niet moeilijk een exemplaar te selecteren waarvan de V_a-I_g-karakteristiek logaritmisch is over een roosterstroomgebied van $6\frac{1}{2}$ decade.

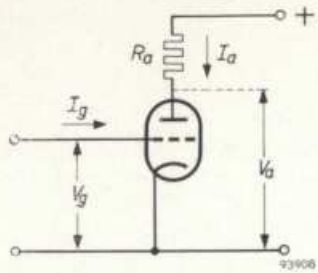


Fig. 2. Bij een in het aanloopstroomgebied werkende triode met constant gehouden anodestroom I_a bestaat een logaritmisch verband tussen de anodespanning V_a en de roosterstroom I_g. De anodestroom wordt hier bij benadering constant gehouden doordat in de anodekring de hoge weerstand R_a is opgenomen.

De periodeversterker

Zoals gezegd, moet men de uitgangsspanning van de logaritmische versterker differentiëren om een spanning te krijgen die evenredig is met $1/T$ en dus een maat is voor de periode T.

Een bekend differentiërend netwerk, bestaande uit een capaciteit C en een weerstand R, is dat van *fig. 3a*. Het is echter geen ideale differentiator; een dis-

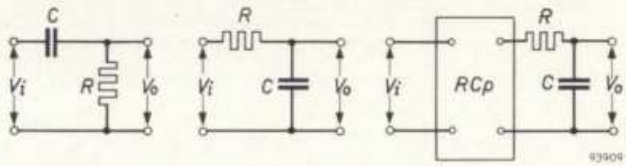


Fig. 3. *a*) Niet-ideale differentiator. *b*) Niet-ideale integrator. *c*) De niet-ideale differentiator (*a*) is equivalent met de ideale differentiator RCp en de niet-ideale integrator (*b*) in cascade.

continue verandering in de afgeleide van de ingangsspanning V_i (*fig. 4a*) heeft namelijk niet een sprong in de uitgangsspanning tot gevolg (fig. 4*b*), maar een asymptotische benadering volgens een exponentieel verloop (fig. 4*c*), waarvan de tijdconstante RC is. Voor ons doel is dit ongewenst, daar de periodemeter iedere verandering in de afgeleide der uitgangsspanning van de logaritmische versterker met zo min mogelijk vertraging moet volgen. De vertraging is des te geringer naarmate de tijdconstante RC kleiner is. Met het verkleinen van RC echter gaat gepaard dat de uitgangsspanning V_o afneemt (zoals men direct inziet, wordt $V_o = 0$ in het limietgeval $R = 0$ of $C = 0$).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De volgende beschouwing moge dit nog verduidelijken. Voor het differentiërende netwerk van fig. 3*a* geldt de volgende differentiaalvergelijking tussen de uitgangsspanning V_o en de ingangsspanning V_i:

$$V_o + RC\frac{dV_o}{dt} = RC\frac{dV_i}{dt},$$

of, als we d/d*t* vervangen door de operator p van Heaviside:

$$V_o = \frac{1}{1+RCp}RCpV_i, \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

terwijl voor een ideale differentiator zou gelden:

$$V_o \sim pV_i.$$

Voor het analoge integrerende netwerk (fig. 3*b*) is

$$V_o + RCpV_o = V_i,$$

dus

$$V_o = \frac{1}{1+RCp}V_i. \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

Vergelijkt men (4) met (5), dan ziet men dat het enige verschil bestaat in de factor RCp, die in (4) wel en in (5) niet voorkomt. Dit betekent dat (4) beantwoordt aan de cascadeschakeling van twee netwerken waarvan het eerste een ideale differentiator RCp is en het tweede de integrator van fig. 3*b*. Met andere woorden: fig. 3*c* is equivalent met fig. 3*a*.

Uit fig. 3*c* blijkt duidelijk dat een ideale differentiator des te dichter wordt benaderd naarmate R en C kleiner zijn, maar uit (4) volgt dat verkleinen van RC de uitgangsspanning V_o doet afnemen.

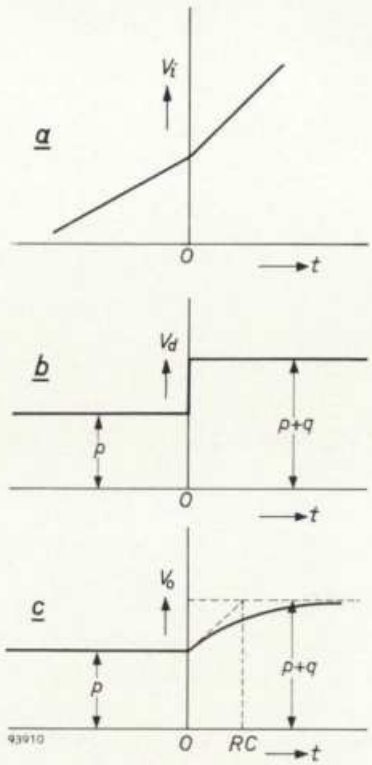


Fig. 4. *a*) Lineair met de tijd *t* oplopende spanning V_i, met een discontinuïteit in de afgeleide bij $t = 0$:

$t < 0 \ldots V_i = pt,$
$t > 0 \ldots V_i = (p+q)t.$

b) Uitgangsspanning V_d van een ideale differentiator waarvan de ingangsspanning volgens (*a*) verloopt.
c) Uitgangsspanning V_o van een niet-ideale differentiator volgens fig. 3*a*, met een ingangsspanning volgens (*a*). De uitgangsspanning wordt voor $t > 0$ gegeven door:

$$V_o = RC\left[p+q\right\}1-\exp(-t/RC)\left\{\right].$$

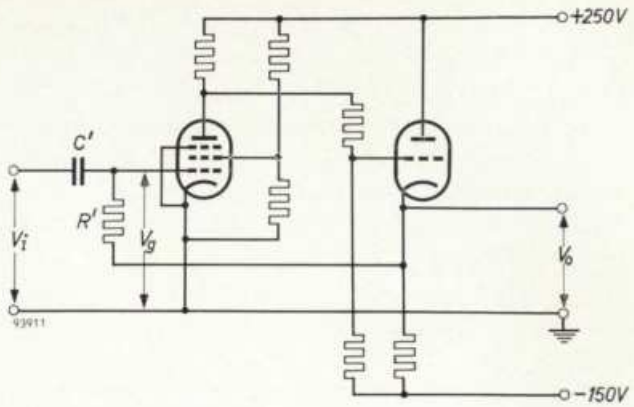


Fig. 5. Differentiator (C' en R') met versterker. R' is verbonden met de uitgang (katode van de triode in anodebasisschakeling).

Als de periode $T = 10$ seconden is, levert de logaritmische versterker een spanning die met ca. 0,2 V per seconde toeneemt. Kiezen wij voor RC b.v. de waarde 0,1 seconde (veel groter mag de tijdconstante zeker niet zijn), dan is, bij $T = 10$ seconden, de uitgangsspanning van de differentiator slechts 20 mV. Dit is te weinig voor het besturen van de relaistrap. Er is dan ook een versterker tussengeschakeld. Deze bestaat uit twee trappen (*fig. 5*), waarvan de tweede een triode in anodebasisschakeling bevat.

Indien men deze versterker eenvoudig achter de differentiator plaatste (*fig. 6a*), zou zijn uitgangsspanning — en dus ook de aanwijzing van de

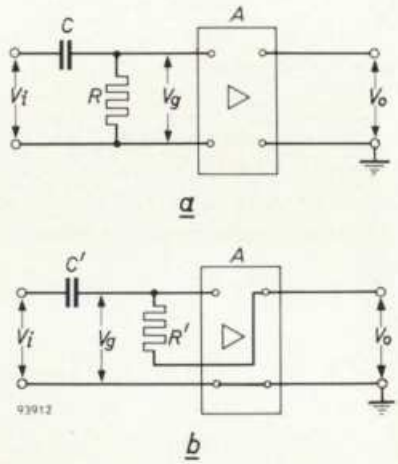


Fig. 6. *a*) Differentiator (C en R), gevolgd door een versterker met versterking A. De uitgangsspanning is evenredig met A. *b*) Differentiator (C' en R') en versterker, met R' aan de uitgang van de versterker. Onder bepaalde voorwaarden is de uitgangsspanning vrijwel onafhankelijk van A.

periodemeter — ten volle onderhevig zijn aan de veranderingen van de versterking. Op eenvoudige wijze echter kan men bereiken dat de uitgangsspanning vrijwel onafhankelijk van de versterking wordt, namelijk door de weerstand van de differentiator niet met aarde te verbinden, maar

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

met de uitgang van de versterker (fig. 6*b*, vgl. ook fig. 5), en aan de volgende voorwaarden te voldoen:
1) de elementen R' en C' van de differentiator moeten zo worden gekozen dat $R'C' = A_0RC$, als A_0 de nominale waarde van de versterking is en RC de oorspronkelijke tijdconstante, en
2) de versterking A moet veel groter dan 1 zijn.

Fig. 7b toont de sprongkarakteristiek van een combinatie waarbij deze voorwaarden zijn vervuld, voor twee waarden van A. Men ziet dat de uitgangsspanning, onafhankelijk van A, tot dezelfde eindwaarde nadert (wat niet het geval is bij de schakeling volgens fig. 6*a*, zie fig. 7*a*). Weliswaar blijkt nu de wijze waarop de eindwaarde wordt benaderd, van A af te hangen, maar dit betekent niets anders dan dat de periodemeter, afhankelijk van A, zijn (juiste) eindwaarde iets vlugger of langzamer bereikt.

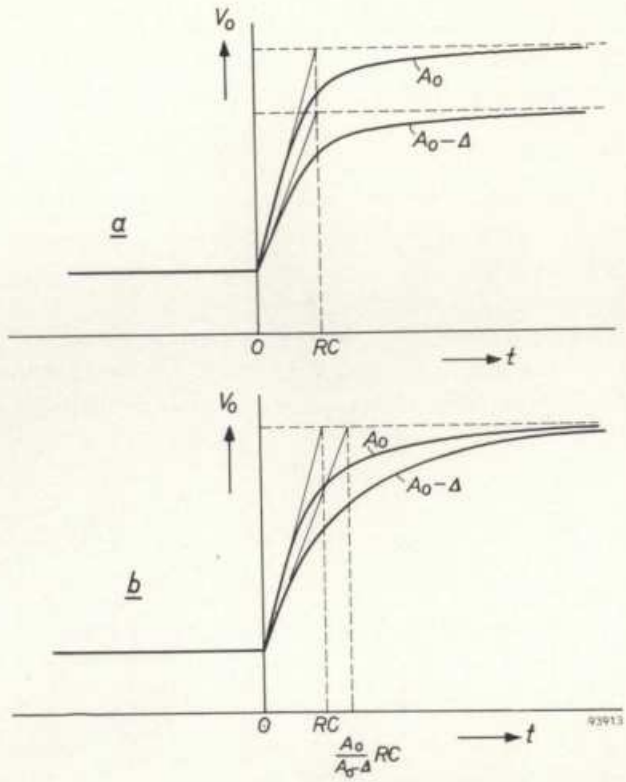


Fig. 7. *a*) Sprongkarakteristiek van de schakeling volgens fig. 6*a*, voor twee waarden van de versterking, A_0 en $A_0 - \Delta$. De eindwaarden zijn verschillend, de tijdconstante is in beide gevallen RC.
b) Hetzelfde voor de schakeling volgens fig. 6*b*, met $R'C' = A_0RC$ en $A \gg 1$. Nu verschillen de tijdconstanten, maar de eindwaarden zijn gelijk.

De volgende berekening dient ter toelichting van het bovenstaande. In fig. 6*a* heeft de differentiator V_i tot ingangs- en $V_g = -V_o/A$ tot uitgangsspanning (bij deze keuze van tekens is A een positief getal). Volgens (4) geldt dan:

$$V_o = -A\frac{1}{1+RCp}RCpV_i\,, \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

waaruit de evenredigheid van V_o met A blijkt.

In fig. 6*b* daarentegen is $V_i - V_o$ de ingangs- en $V_g - V_o$ de uitgangsspanning van de differentiator, waarvan de tijdconstante $R'C'$ is. Verg. (4) levert nu, met $V_g = -V_o/A$ en na enige herleiding:

$$V_o = -\frac{\frac{A}{A+1}}{1+\frac{R'C'p}{A+1}}R'C'pV_i. \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

Kiest men $R'C' = A_0RC$, dan gaat (7) over in:

$$V_o = -\frac{A}{A+1}A_0\frac{1}{1+\frac{A_0}{A+1}RCp}RCpV_i.$$

Als men bovendien nog de versterking zo groot maakt dat $A/(A+1) \approx 1$ mag worden gesteld, wordt dit:

$$V_o \approx -A_0\frac{1}{1+\frac{A_0}{A}RCp}RCpV_i. \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

(8) is van dezelfde vorm als (6), met dit belangrijke verschil echter dat in de plaats van de fluctuerende factor A de constante factor A_0 is gekomen. Verder is in de noemer in de plaats van RC de tijdconstante A_0RC/A getreden, welke dus niet onafhankelijk van A is. Boven werd al opgemerkt dat dit praktisch van weinig belang is.

De relaistrap

De relaistrap (*fig. 8*) bevat twee als zg. Schmitt-triggers geschakelde dubbele triodes, *I-II* en *III-IV*. Deze zijn zo ingesteld dat bij afwezigheid van een signaal uit de periodeversterker (d.w.z. bij stationair werkende of niet werkende kernreactor, periode $T = \infty$) alleen *II* en *IV* stroom doorlaten. In deze toestand zijn dus de relais A_1 en A_2 bekrachtigd; de contacten a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} en a_{23} staan dan juist andersom dan in fig. 8 is getekend.

Wanneer de neutronenflux toeneemt, heeft T een eindige positieve waarde en levert de periodeversterker een positieve uitgangsspanning, die des te hoger is naarmate de periode korter is. Met behulp van de potentiometer P_1 resp. P_2 is elk van de schakelingen zo in te stellen dat bij een bepaalde waarde van T de rondversterking groter dan 1 wordt. Voor het paar *I-II* legt men dit punt bij $T = 10$ seconden. Wordt dit bereikt, dan slaat de toestand om in een nieuwe, waarin *I* geleidt en *II* stroomloos is. Het relais A_1 valt af en het contact a_{12} gaat open. Als gevolg hiervan wordt elders op de bedieningstafel een waarschuwingssein gegeven, terwijl door tussenkomst van het servomechanisme de regelstaaf en de veiligheidsstaven in de reactor gaan dalen, om de toeneming van de neutronenflux te remmen.

Als niettemin de periode nog korter wordt en de waarde 3 seconden bereikt, wordt *III* geleidend en *IV* stroomloos. Ditmaal wordt, door opengaan van contact a_{23}, de magneetstroom onderbroken. Dientengevolge vallen de veiligheidsstaven naar beneden, waardoor de reactor wordt gestopt. Tevens wordt door opengaan van a_{22} een waarschuwingssein gege-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ven. Contact a_{21} verbreekt bovendien de anodeleiding van IV, zodat het relais A_2 pas weer kan opkomen als men op de knop D drukt.

De ijkinrichtingen

Met behulp van een schakelaar met zeven standen (fig. 1) kunnen een aantal calibraties en controles worden uitgevoerd. Zodra men de schakelaar uit de meetstand (de normale stand) brengt, gaat op de frontplaat een rode waarschuwingslamp branden; tevens wordt een contact gesloten dat ook elders een signaal kan inschakelen, i.c. op de bedieningstafel. Om ijking mogelijk te doen zijn terwijl de reactor in werking is, zijn in de standen 2 tot en met 6 de relaiscontacten a_{12}, a_{22} en a_{23} (waarvan het opengaan de beveiligingsversterkers en de servomotoren zou doen functioneren) kortgesloten. Alle calibratie-instellingen zijn aan de voorzijde met een schroevedraaier uit te voeren.

De standen van de schakelaar zijn de volgende:

1) Normale stand(meetstand).
2) In deze stand functioneert alles nog normaal, alleen zijn de zoëven genoemde relaiscontacten kortgesloten. Deze stand is noodzakelijk om te voorkomen dat bij het terugkeren vanuit de ijkstanden naar de meetstand loos alarm zou ontstaan.
3) Als (2), doch bovendien is nu de periodemeter kortgesloten.
4) Hier wordt een bekende stroom (10^{-10} A) in de logaritmische versterker gestuurd; de meter moet daarbij uitslaan tot 2×10^{-4}% van het volle vermogen.
5) Als (4), maar de stroom is nu 10^{-5} A en het ijkpunt ligt bij 20% van het volle vermogen.
6) Bij indrukken van de knop „Period test" komt op de ingang van de periodeversterker een lineair met de tijd oplopende spanning te staan, overeenkomend met $T = 3$ seconden. De periodemeter moet nu dus 3 seconden aanwijzen. Tevens moet de relaisschakeling III-IV omslaan; dit is te constateren aan het gaan branden van het neonlampje L_2 (fig. 8).

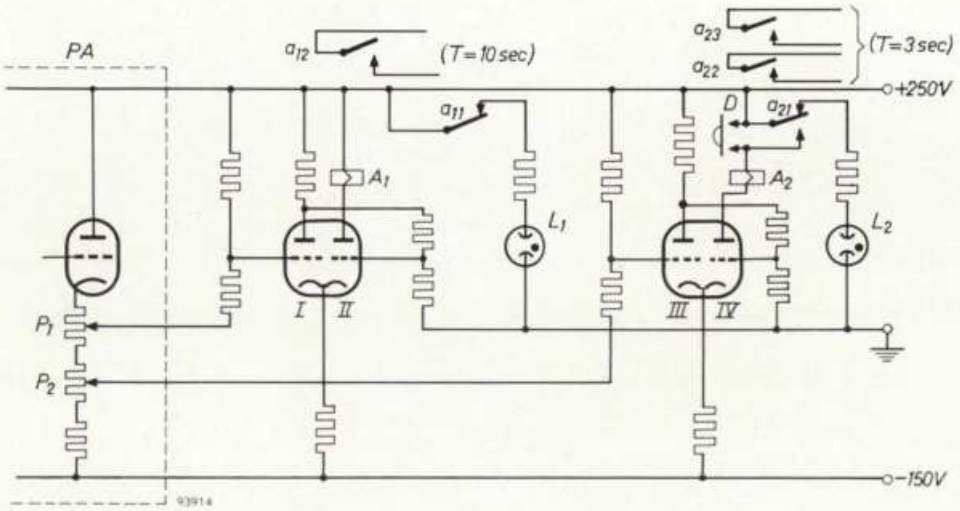


Fig. 8. Relaistrap. Als de periodeversterker PA geen signaal levert ($T = \infty$), laat de rechterhelft (II, IV) van de beide dubbele triodes stroom door en zijn de relais A_1 en A_2 bekrachtigd; de contacten a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} en a_{23} staan dan andersom dan getekend is. Neemt T af tot 10 seconden, dan wordt I geleidend en II stroomloos; a_{11} gaat dicht, a_{12} gaat open. Bereikt T de waarde 3 seconden, dan wordt III geleidend en IV stroomloos; a_{21} wordt omgelegd, a_{22} en a_{23} gaan open. Bij welke waarde van T een en ander geschiedt, is in te stellen met potentiometers P_1 en P_2 in de periodeversterker. L_1 en L_2 zijn neonlampjes, die het afvallen van de relais verklikken.

7) Als (6), doch nu met een spanning die oploopt overeenkomend met $T = 10$ seconden. Aan het neonlampje L_1 (fig. 8) is te zien of de schakeling I-II omslaat.
8) Als (6), doch nu zijn de relaiscontacten niet meer kortgesloten. Men kan dus controleren of de verbindingen met de beveiligingsversterkers en de servomotoren in orde zijn.

De gamma-indicator

Een kernreactie gaat gepaard met het opwekken van gammastralen. Deze stralen kunnen gevaar opleveren voor personen die eraan zijn blootgesteld. Om deze reden, en tevens om eventuele lekken in de brandstofelementen aan te tonen, wordt in de omgeving van een kernreactor de intensiteit van de gammastraling voortdurend gecontroleerd; op de tentoonstelling „Het Atoom" gebeurde dit op drie plaatsen. Overschrijdt de gamma-intensiteit een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bepaalde waarde, dan wordt de reactor automatisch stopgezet („slow scram"), en tevens wordt een waarschuwingssein gegeven.

Gammastralen hebben, evenals röntgenstralen, de eigenschap ionen te vormen in de materie waar zij doorheen gaan. Op deze eigenschap berust de definitie van de eenheid (röntgen genaamd) waarin men bestralingsdoses röntgen- en gammastralen uitdrukt. Deze eenheid is als volgt gedefinieerd (International Commission for Radiological Units, rapport van 1956): één röntgen (1 r) is een zodanige bestralingsdosis van röntgen- of gammastraling dat de daardoor per 0,001293 gram lucht teweeggebrachte corpusculaire emissie positieve en negatieve ladingsdragers vormt, welke groepen elk een totale lading van 1 elektrostatische eenheid dragen. (Voor „0,001293 gram lucht" kan men ook lezen: 1 cm³ lucht van 1 atm en 0 °C.)

Volgens de International Commission for Radiological Protection wordt voor hen die in hun beroep aan bestraling zijn blootgesteld, een dosis van 0,3 r in de week toelaatbaar geacht [2]). Van zulk een dosis wordt, in het licht van de huidige kennis, niet verwacht dat iemand daarvan op enig tijdstip van zijn leven een nadelig lichamelijk effect zal ondervinden. In het geval van de kernreactor op „Het Atoom" is aangenomen dat het bedienend personeel maximaal 30 uur per week aan de straling kan zijn blootgesteld. Daarom is de eis gesteld dat op geen der toegankelijke plaatsen de doseringssnelheid (dosis per tijdseenheid) het bedrag van 10 milliröntgen per uur (10 mr/h) mag overschrijden. Ter vergelijking diene dat de doseringssnelheid van de kosmische straling op zeeniveau ca. 0,01 mr/h bedraagt, dus ca. 1/1000 van de gestelde grenswaarde.

De gammadetector

Als detector voor de gammastralen wordt een ionisatiekamer gebruikt die bestaat uit een dunwandige stalen cilinder met een inhoud van 800 cm³, gevuld met argon onder een druk van 15 atm [3]). De ladingsdragers die de gammastralen in het gas vrijmaken, worden afgevoerd door een elektrisch veld, dat aangelegd is tussen een centrale elektrode en de wand. De veldsterkte is zo groot gekozen dat er nagenoeg geen ladingsdragers door recombinatie verloren gaan (argon heeft als vulgas het voordeel boven lucht dat deze veldsterkte reeds bij een lage spanning wordt bereikt). De veldsterkte is evenwel niet zo groot dat nieuwe ladingsdragers door botsingen met de gasatomen kunnen ontstaan. De verkregen stroom is dus uitsluitend afhankelijk van de doseringssnelheid.

Was de ionisatiekamer gevuld met lucht van 1 atm en 0 °C en bedroeg het volume 1 cm³, dan zou de gammastraling, bij de maximaal toegelaten doseringssnelheid van 10 mr/h, per uur een lading ter grootte van 0,01 e.s.e. = $3{,}33\times10^{-12}$ C vrijmaken. Daarbij zou dus de maximale detectorstroom $3{,}33\times10^{-12}/60^2 \approx 10^{-15}$ A bedragen. Bij de werkelijke detector is deze stroom aanzienlijk groter, en wel (afgezien van o.a. wandeffect) een factor 800 wegens het grotere volume, een factor 15 wegens de hogere druk, en een factor ca. 1,25 wegens het gebruik van argon in plaats van lucht (wat dus nog een bijkomstig voordeel van argon boven lucht is). De detectorstroom bij de maximaal toelaatbare doseringssnelheid wordt dus globaal:

$$800\times15\times1{,}25\times10^{-15} \approx 1{,}5\times10^{-11}\ \text{A}.$$

Ter plaatse van de ionisatiekamer heeft de straling al een lange weg door water en eventueel ook door beton doorlopen, zodat daar praktisch alleen nog harde straling aanwezig is. Bij quanta van harde straling is het vermogen om elektronen uit de gasatomen te verwijderen, evenredig met het aantal elektronen per cm³, dus met het aantal gasatomen per cm³ en met het atoomnummer van het gas. Het atoomnummer van stikstof is 7, dat van zuurstof is 8 (gemiddeld voor lucht: 7,2), en dat van argon is 18. Daar 1 cm³ argon van 15 atm evenveel atomen bevat als er moleculen zijn in 1 cm³ lucht van 15 atm, en dit aantal moleculen half zo groot is als het aantal atomen N en O, bedraagt de winstfactor bij gebruik van argon in plaats van lucht: $18/(2\times7{,}2) = 1{,}25$. (Bij deze globale berekening zijn niet alle van invloed zijnde factoren in aanmerking genomen.)

De minimale detectorstroom die men nog wil kunnen meten, is die welke correspondeert met de kosmische straling (ca. 0,01 mr/h). Deze stroom is dus van de orde van 10^{-14} A.

Het meten van de detectorstroom

Voor het meten van de detectorstroom wordt gebruik gemaakt van een elektrometerbuis, en wel van de tetrode 4066. Het stuurrooster hiervan is verbonden met de centrale elektrode van de gammadetector, en verder nergens mee. Bij gevolg zal de buis zich zo instellen dat er een roosterstroom loopt die gelijk en tegengesteld is aan de detectorstroom (de isolatie is zo goed dat de lekstroom niet groter is dan van de orde van 10^{-15} A en dus verwaarloosd mag worden).

Bij deze zeer zwakke roosterstroom (10^{-14}-10^{-11} A, geheel in het aanloopstroomgebied) geldt weer dat een roosterspanningsverandering δV_g evenredig

[2]) Vgl. Philips techn. T. **16**, 136, 1954.
[3]) Deze gammadetector is ontworpen en vervaardigd door K. van Duuren en medewerkers, voor Philips' Natuurkundig Laboratorium werkzaam bij het synchrocyclotron te Amsterdam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is met de logaritme van de bijbehorende roosterstroomverandering δI_g. Daar δV_g een evenredige verandering δI_a van de anodestroom tot gevolg heeft, is δI_a evenredig met log (δI_g). Op een draaispoelmeter in de anodekring kan men dus de roosterstroomveranderingen — die gelijk zijn aan de detectorstroomveranderingen, dus evenredig met de doseringssnelheid — op een logaritmische schaal aflezen (de relatief grote anoderuststroom wordt in de meter met een eenvoudige schakeling gecompenseerd). Een logaritmische schaal heeft de al eerder in dit artikel ter sprake gekomen voordelen dat ettelijke decades worden omvat (zodat met één meetgebied kan worden volstaan en men zich dus niet in het meetgebied kan vergissen), en dat over de gehele schaal de relatieve gevoeligheid even groot is.

De elektrometertetrode type 4066 is een subminiatuurbuis, waarvan het tweede rooster als stuurrooster fungeert. Het eerste rooster dient als ruimteladingsrooster en krijgt daartoe een constante positieve spanning van enige volts.

De buis is gemonteerd *in* de gammadetector. Dit heeft het grote voordeel dat de verbinding van de centrale elektrode met het stuurrooster niet door de stalen wand van de detector geleid behoeft te worden, zodat het gedeelte van de schakeling dat zeer goed geïsoleerd moet zijn, zich in een droge en onveranderlijke omgeving bevindt. Doorvoeringen zijn nu wèl nodig voor de toevoerleidingen van de andere elektrodes, maar voor deze zijn geen bijzonder hoge isolatieweerstanden vereist.

Lichtrelais met transistor

Daar de anodestroom van de elektrometerbuis te zwak is om rechtstreeks een relais te bekrachtigen, is een oplossing met een lichtrelais gekozen.

In de wijzerplaat van de anodestroommeter is aan het eind van de schaal, bij 10 mr/h, een opening gemaakt. Door deze opening valt licht van een gloeilampje op een transistor. Deze laat, zolang het licht erop valt, tussen emissor en collector een stroom door, die een relais bekrachtigd houdt. Zodra echter de wijzer het licht onderschept, wordt de stroom vrijwel nul; het relais valt af, waardoor de reactor wordt stopgezet en een alarminrichting in werking gesteld. (Een versterker, zoals bij een fotocel nodig zou zijn, is hier dus overbodig.) De werking van het geheel kan worden gecontroleerd door een radioactief preparaat bij één van de ionisatiekamers te houden.

In principe is iedere transistor gevoelig voor licht. Daar dit verschijnsel bij gewoon gebruik meestal storend zou zijn, worden de normale transistors tegen licht beschermd door een laag lak. De hier gebruikte transistors OCP 71 zijn niet gelakt, doch overigens van een normaal type.

Schakeling

Het paneel van de gamma-indicator is afgebeeld in *fig. 9*. Het is ingericht voor vier ionisatiekamers. In de figuur ziet men bovenaan de vier meters met de erop geplaatste transistors. Deze meters geven volle uitslag bij 10 μA. Daar bij zulke gevoelige instrumenten, als ze verticaal staan (as van de

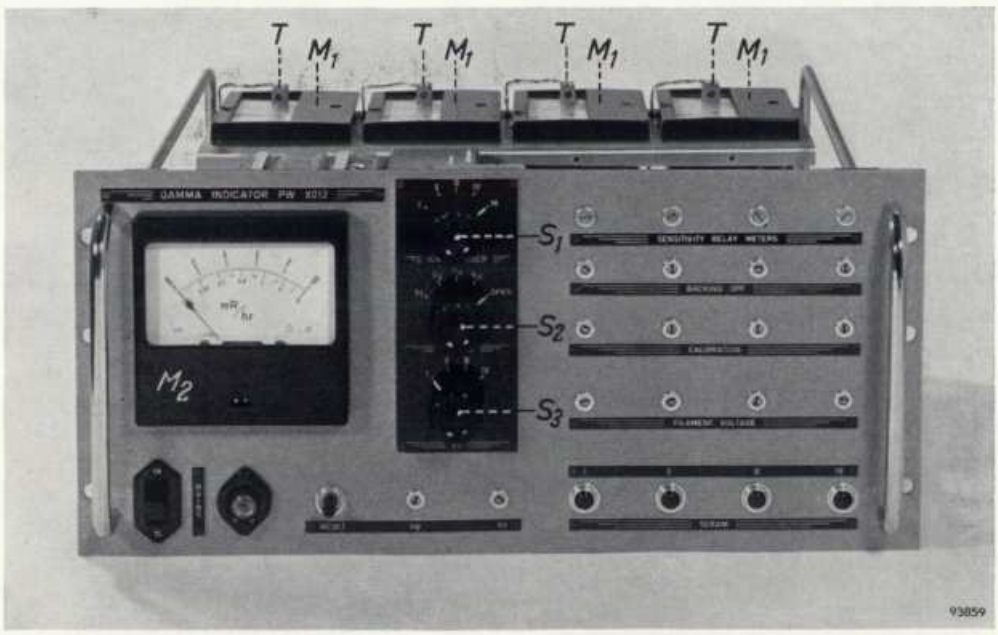


Fig. 9. Paneel PW X012 van de gamma-indicator. Bovenaan: de vier lichtrelaismeters M_1 met de erop geplaatste transistors T. Op de voorzijde: meter M_2 die de doseringssnelheid aanwijst of als voltmeter voor een aantal te controleren spanningen dienst doet, al naar de stand van de schakelaars S_1, S_2 en S_3.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

draaispoel horizontaal), de wijzer aan het begin of eind van de schaal gemakkelijk blijft kleven, zijn de meters hier horizontaal gemonteerd. In die stand zijn ze echter moeilijk afleesbaar; daarom is op de frontplaat een afzonderlijke meter voor het aflezen geplaatst, die in elk van de vier kanalen kan worden geschakeld (eventueel kleven kan bij deze meter geen uitblijven van veiligheidsmaatregelen tot gevolg hebben).

Het schema van één kanaal is weergegeven in *fig. 10*. De correctieweerstand R_1 dient om de uitslag van de lichtrelaismeter M_1 gelijk te maken aan die van de meter M_2 waarop men afleest.

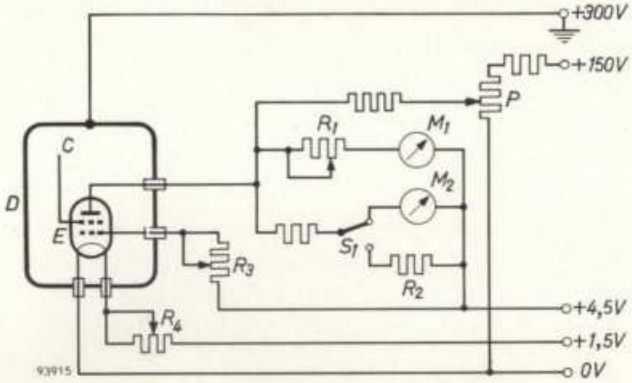


Fig. 10. Schema van één kanaal van de gamma-indicator. D is de als gammadetector fungerende ionisatiekamer, met daarin gemonteerd de elektrometertetrode E (type 4066). M_1 lichtrelaismeter. R_1 correctieweerstand. M_2 meter voor aflezing van de doseringssnelheid. S_1 schakelaar waarmee M_2 achtereenvolgens in de vier kanalen kan worden geschakeld, of gebruikt voor het meten van voedingsspanningen. R_2 vervangweerstand voor M_2. P potentiometer voor het instellen van de compensatiestroom. R_3 weerstand ter regeling van de spanning op het ruimteladingsrooster van de elektrometerbuis. R_4 gloeistroomweerstand.

Als relatieve gevoeligheid is gekozen: 1 μA per factor 2, d.w.z. de anodestroom van de elektrometerbuis E neemt 1 μA toe als de doseringssnelheid wordt verdubbeld. Volle uitslag (10 μA) moet optreden bij 10 mr/h. De afstand tot het beginpunt van de schaal is derhalve tien factoren 2, dus $2^{10} \approx 1000$. Het nulpunt van de meter komt dus overeen met 0,01 mr/h (kosmische straling). De gewenste relatieve gevoeligheid van 1 μA per factor 2 kan worden ingesteld door regeling van de spanning van het eerste rooster (met de serieweerstand R_3) en zo nodig door regeling van de gloeistroom (met de weerstand R_4).

Na deze instelling is nog een absolute ijking nodig, d.w.z. de anodestroom moet zodanig gecompenseerd worden dat de meter de werkelijke doseringssnelheid ter plaatse van de detector aanwijst. Voor deze ijking moet men beschikken over een radioactieve bron van bekende sterkte (die zeer gering mag zijn, dank zij de grote gevoeligheid van het instrument). De compensatiestroom is regelbaar met de potentiometer P (fig. 10). Evenals de weerstanden R_1, R_3 en R_4, is P verstelbaar met behulp van een schroevedraaier.

Door middel van een schakelaar met vijf standen kan de meter M_2 in elk der vier meetkanalen geschakeld worden. In de kanalen waarin de meter niet wordt gebruikt, neemt een equivalente weerstand R_2 zijn plaats in. De vijfde stand dient ervoor om met dezelfde meter de voedingsspanningen te controleren. Deze zijn zodanig gestabiliseerd dat netspanningsveranderingen tot 10 % een verwaarloosbare invloed op de aanwijzing hebben.

Om aanraking van de stalen detectorcilinders ongevaarlijk te maken, zijn deze geaard. De overige apparatuur heeft dus een spanning van ca. —300 V ten opzichte van aarde.

Meting met verschillende stralenbronnen

Wegens het gebruik van argon in de ionisatiekamers, in plaats van lucht, zou men kunnen vrezen dat de ionenopbrengst op een andere wijze van de hardheid der straling zou afhangen dan wanneer lucht was genomen. Daar in ons geval ter plaatse van de ionisatiekamers slechts harde straling aanwezig is (de zachtere stralen zijn in het water en eventueel ook in het beton sterk geabsorbeerd), mag men echter verwachten dat het genoemde effect slechts klein zal zijn. Om dit te verifiëren, hebben wij een proef genomen met twee verschillende stralingsbronnen: kobalt, dat straling van 1,1 en 1,3 MeV levert, en cesium, met straling van 0,66 MeV. Bij deze energieën bleek argon praktisch equivalent met lucht te zijn.

Nadat alle preparaten waren verwijderd — zodat alleen de kosmische straling overbleef —, was de uitslag 0,01 mr/h. Hieruit volgt dat de isolatie van de centrale elektrode en het stuurrooster aan zeer hoge eisen voldoet.

De beveiligingsversterkers

Het beveiligingssysteem werkt met twee eigen ionisatiekamers. De stroom van elk wordt toegevoerd aan twee beveiligings-„versterkers", die als relais werken. Tot het systeem behoren verder een kanteelspanningsgenerator (2000 Hz) en twee gelijkrichters, waarvan de ene de gelijkspanning (300 V) voor de genoemde generator en voor de ionisatiekamers levert, en de andere de bekrachtigingsstroom voor de elektromagneten waaraan de veiligheidsstaven hangen. Al deze onderdelen zijn gemonteerd op het beveiligingspaneel type PW X086 [4]). Geeft één van de ionisatiekamers een te grote stroom — als gevolg van een te sterke neutronenflux —, dan verbreekt één van de beveiligingsversterkers de magneetstromen, waardoor de staven in de reactor vallen en deze wordt stopgezet.

[4]) Op „Het Atoom" werd een beveiligingspaneel van Amerikaans fabrikaat gebruikt. In Delft zal dit worden vervangen door een paneel PW X086.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De ionisatiekamers (van Amerikaans fabrikaat) die voor de beveiligingskanalen worden gebruikt, zijn van het type PCP („parallel circular plates"). De elektrodes bestaan namelijk uit een aantal cirkelvormige platen die evenwijdig met elkaar staan opgesteld; zo verkrijgt men een grote werkzame oppervlakte. De platen bestaan uit grafiet (een materiaal dat onder neutronenbombardement maar weinig radioactief wordt), bedekt met een laagje borium dat verrijkt is met het isotoop B^{10}. Dit laatste heeft een grote werkzame doorsnede voor thermische neutronen. Bij absorptie van een neutron door een kern B^{10} komt een alfadeeltje ($_2He^4$) vrij:

$$_5B^{10} + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_3Li^7,$$

en zowel deze alfadeeltjes als de lithiumkernen veroorzaken ionisatie van de stikstof waarmee de kamer is gevuld. Men verkrijgt aldus een ionisatiestroom die evenredig is met de flux van thermische neutronen.

Het schema van de beveiligingsversterkers is in *fig. 11* vereenvoudigd weergegeven. De anodekring van een thyratron *Th* bevat een relaisspoel *A* en wordt gevoed met een kanteelspanning, waarvan de frequentie 2000 Hz is. Door de weerstand R_1, die het rooster met de katode verbindt, loopt de stroom I van de ionisatiekamer *Ch*. De roosterspanning is dus een gelijkspanning die evenredig is met I, d.w.z. met de neutronenflux ter plaatse van de ionisatiekamer. Zolang I kleiner is dan een kritische waarde, laat het thyratron — dank zij het feit dat de voedingsspanning kanteelvormig is — gedurende de helft van iedere periode een constante stroom door

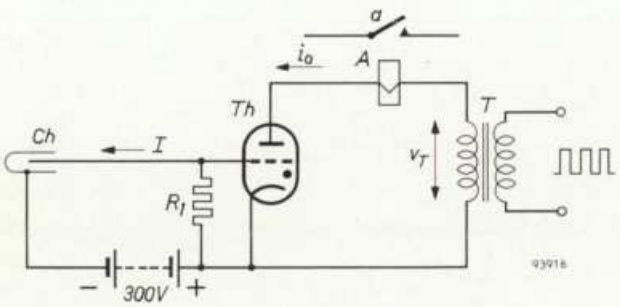


Fig. 11. Vereenvoudigd schema van de beveiligingsversterker. De stroom I van de ionisatiekamer *Ch* wekt over de weerstand R_1 een spanning op die bij overschrijding van een kritische waarde het thyratron *Th* belet te ontsteken. Daarbij valt het relais *A* af en gaat het contact *a* open, wat het stopzetten van de kernreactor tot gevolg heeft. Via de transformator *T* wordt de anodekring gevoed met een kanteelspanning.

(*fig. 12*), die het relais bekrachtigt. Overschrijdt I de kritische waarde, dan wordt de roosterspanning zo sterk negatief dat het thyratron niet meer ontsteekt en het relais dus afvalt; het contact *a* (fig. 11), waarover de stroom van de elektromagneten liep, gaat open, zodat de veiligheidsstaven in de reactor vallen.

In het geheel zijn er vier identieke beveiligingsversterkers, die twee aan twee op een ionisatiekamer zijn aangesloten, zoals *fig. 13* laat zien. In deze figuur is één van de versterkers meer in detail getekend. Het thyratron, type PL 2D21, heeft een schermrooster, dat met de katode is verbonden. De

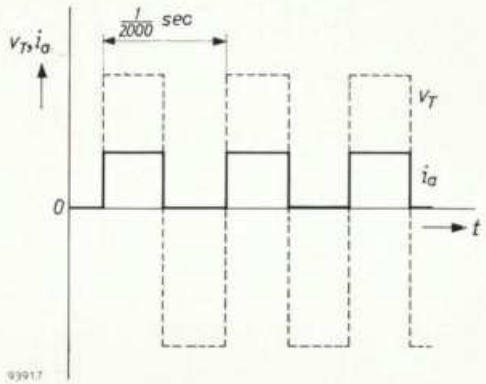


Fig. 12. Voedingsspanning v_T en anodestroom i_a van het thyratron in fig. 11, als functie van de tijd t.

spoel van het relais is overbrugd met een condensator C voor het doorlaten van de wisselstroomcomponent van de anodestroom. G is de gelijkrichter die de elektromagneten M voedt. De relais A', A'', ... hebben niet alleen een contact a_2', a_2'', ... waarmee zij de gelijkstroom onderbreken, maar als extra-beveiliging ook een contact a_1', a_1'', ... waarmee de gelijkrichter aan de wisselstroomzijde wordt afgeschakeld. Elk relais heeft bovendien nog een (niet getekend) contact dat op de bedieningstafel een rode lamp doet branden zolang het relais niet bekrachtigd is.

Doordat de weerstanden R_1 variabel zijn, kan men de stroom I waarbij de versterkers in functie komen (het „scram point"), instellen. Tevens kan met R_1 gecorrigeerd worden voor de spreiding in de karakteristiek van de buis PL 2D21.

Als de reactor tot rust is gekomen, is de stroom I nul. De thyratrons zouden nu weer kunnen ontsteken als hun anodekringen niet waren onderbroken bij de contacten a_3, ..., die door het afvallen van de relais eveneens zijn opengegaan. Om de relais weer te doen opkomen, overbrugt men de contacten a_3, ... even met de drukknop D. Doordat daarbij ook de weerstanden R_2 worden kortgesloten, gaan er anodestromen lopen die zoveel sterker zijn dan de normale dat de relais met zekerheid opkomen. Als men D loslaat, worden de weerstanden R_2 weer ingeschakeld en keert de normale toestand terug.

Het beveiligingspaneel is afgebeeld in *fig. 14*.

„Veilig falen" en betrouwbaarheid

Een belangrijke eis die aan een beveiligingsversterker wordt gesteld, is dat door onverschillig

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

welke inwendige storing de veiligheid niet in gevaar mag komen, dus dat iedere inwendige storing tot gevolg moet hebben dat de reactor wordt stopgezet. Aan deze eis van „veilig falen" („failure to safety") voeren; in ons geval is de ionisatiekamer in tweevoud aanwezig, de beveiligingsversterker in viervoud. Uiteraard neemt daardoor de kans op nodeloos stopzetten iets toe.

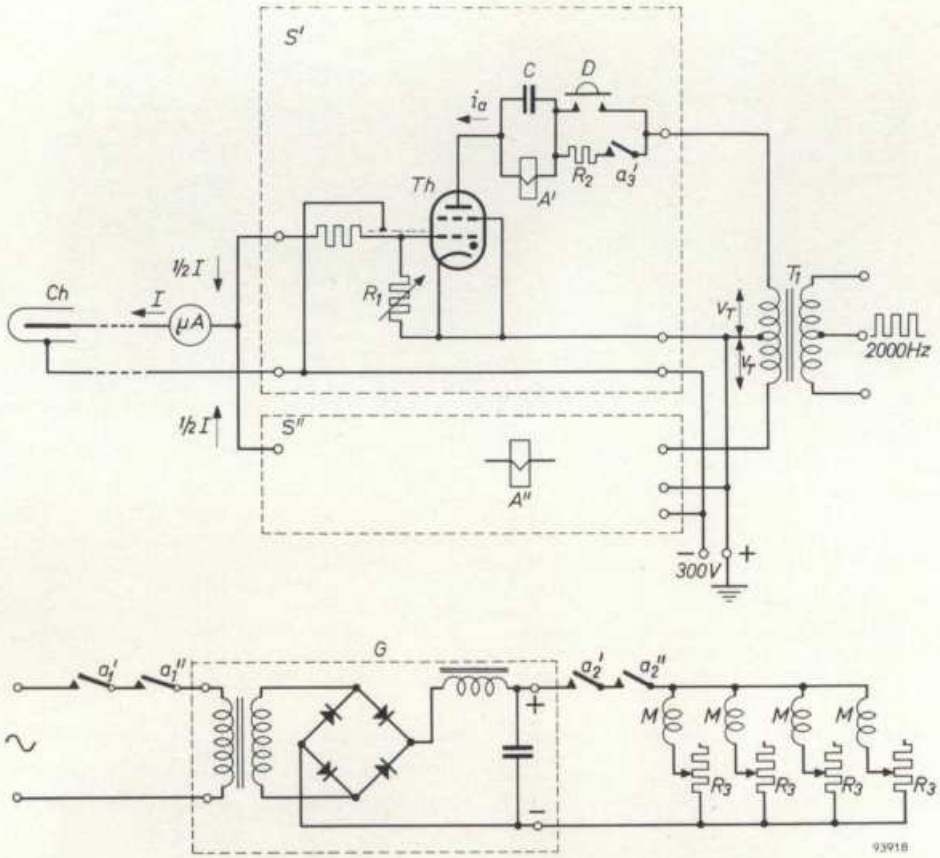


Fig. 13. Twee identieke beveiligingsversterkers (vgl. fig. 11), S' en S'', zijn aangesloten op één ionisatiekamer *Ch*. R_1 regelbare weerstand, waarmee in te stellen is, bij welke stroom I de beveiliging in werking komt. *Th* thyratron PL 2D21. A' relais type T 51 C, met contacten a_1', a_2' en a_3'; de contacten a_1'' en a_2'' behoren bij het overeenkomstige relais A'' in S''. C condensator (wisselstroomshunt). R_2 serieweerstand, kort te sluiten met drukknop D. T_1 voedingstransformator, die aan beide versterkers een kanteelspanning van 2000 Hz levert. De gelijkrichter G voedt de vier elektromagneten M over regelweerstanden R_3.

kan in werkelijkheid nooit geheel worden voldaan; altijd zullen er storingen denkbaar zijn waarbij de reactor niet wordt stopgezet. Beveiligingsversterkers dienen zo te zijn ontworpen dat de kans op zulke storingen uiterst klein is. Anderzijds moet men wel bedenken dat het eveneens van groot belang is, nodeloos stopzetten van de reactor te voorkomen: uitvallen van een researchreactor is hinderlijk en tijdrovend, en uitvallen van een reactor voor energievoorziening kan ernstige economische gevolgen hebben. De beveiliging dient dan ook in hoge mate betrouwbaar te zijn. Dit betekent dat uitsluitend onderdelen van zeer goede kwaliteit mogen worden gebruikt, en dat de apparatuur zo eenvoudig mogelijk moet zijn.

De veiligheid kan bovendien sterk worden opgevoerd door de installatie meervoudig uit te

Een nadere beschouwing [5]) leert dat de kansen op falen multiplicatief zijn, en die op nodeloos stopzetten additief. Door dupliceren wordt de toestand relatief dus altijd beter.

O.a. in Engeland heeft men, op aanbeveling van het Atomic Energy Research Establishment te Harwell, een systeem gekozen met drie beveiligingsapparaten, die zo zijn geschakeld dat wanneer slechts één ervan in werking komt, er alleen maar alarm wordt gegeven, en dat pas wanneer er twee of drie functioneren, de reactor wordt stopgezet. De kans op nodeloos stopzetten is bij dit systeem veel kleiner dan bij een installatie in duplo, terwijl in beide gevallen de kans op falen van dezelfde orde is.

In *tabel I* is opgesomd welke storingen in de beveiligingsversterkers van paneel PW X086 denkbaar zijn en welke gevolgen zij hebben. De opmerkingen in de noten bij deze tabel in aanmerking

[5]) E. Siddall, Reliable reactor protection, Nucleonics **15** no. 6, 124-129, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 14. Paneel PW X086 met vier beveiligingsversterkers volgens fig. 13. De twee grote meters wijzen de stroom van de ionisatiekamers aan en hebben een relatieve schaal waarop het vermogen is af te lezen. Ertussenin de drukknop (D in fig. 13) voor het weer in functie brengen na een storing. Onderaan: meter voor controle van de voedingsspanning en van de magneetstromen, met links de omschakelaar. Verder naar links de drukknoppen waarmee verschillende ijkstromen kunnen worden toegevoerd. Rechts de instelschroeven van de vier weerstanden voor het regelen van de magneetstromen (R_3 in fig. 13).

Tabel I. Denkbare storingen in de beveiligingsversterkers, en hun gevolgen.

Weerstand R_1 onderbroken	relais valt af
„ „ kortgesloten	„ blijft op
µA-meter onderbroken *)	„ blijft op
„ kortgesloten	geen invloed
Relaisspoel onderbroken	relais valt af
„ kortgesloten	„ „ „
Condensator C onderbroken	„ „ „
„ „ kortgesloten	„ „ „
Weerstand R_2 onderbroken	„ „ „
„ „ kortgesloten	„ „ „**)
Thyratron: lek	„ „ „
„ : onderbreking gloeistroom	„ „ „
„ : „ stuurrooster (g_1)	„ blijft op
„ : „ schermrooster (g_2)	„ valt af
„ : „ anode (a)	„ „ „
„ : kortsluiting katode (k) - g_1 ***)	„ blijft op
„ : „ k-g_2	geen invloed
„ : „ k-a ***)	relais valt af
„ : „ g_1-g_2	„ blijft op
„ : „ g_1-a ***)	„ blijft op
„ : „ g_2-a	„ valt af
Storing in 2000 Hz-generator	„ „ „
„ „ 300 V-voeding	„ „ „

*) De kans op onderbreking is zeer klein, daar de meter van een shunt is voorzien.

**) Daar bij kortgesloten R_2 de anodestroom groter is dan normaal, valt het relais langzamer af, en dit gebeurt pas bij een grotere ionisatiestroom I.

***) De buis PL 2D21 is zo geconstrueerd en de bedrading is zo aangebracht dat kortsluitingen k-g_1, k-a en g_1-a praktisch tot de onmogelijkheden behoren.

nemend, ziet men dat de versterkers in hoge mate „fail-safe" zijn. Dat dit is verkregen met een gering aantal onderdelen, draagt sterk bij tot de betrouwbaarheid.

Als verdere maatregel ter voorkoming van falen van de versterker noemen we nog dat de afscherming van de stuurroosterleidingen niet met aarde is verbonden, maar met het punt van —300 V (fig. 13); uit afschermingsoogpunt is dit toelaatbaar, want de bron van 300 V heeft een lage impedantie, en het voordeel is dat bij kortsluiting tussen een punt van de schakeling en de afscherming het relais afvalt.

Het gebruik van een gemeenschappelijke gelijkspanningsbron voor de ionisatiekamers en de kanteelspanningsgenerator heeft het voordeel dat ook storing in deze bron het relais doet afvallen (doordat de kanteelspanning verdwijnt). Zoals in fig. 13 is te zien, komt in de schakeling geen punt voor met een positieve gelijkspanning ten opzichte van de katode; dat als gevolg van kortsluiting een positieve gelijkspanning op de anode zou komen te staan — waardoor het thyratron niet meer zou doven en het relais bekrachtigd zou blijven —, is dus uitgesloten.

Het is nog van belang erop te wijzen dat in de schakeling doelbewust gebruik is gemaakt van een gelijkrichtend element, namelijk het thyratron. Daardoor kon de schakeling, waarin een gelijkstroomrelais moet worden bekrachtigd, gevoed

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

worden met wisselspanning. Bij kortsluiting tussen anode en katode, of tussen anode en schermrooster, zal het relais dus afvallen.

Zoals gezegd, is voor de voeding van de beveiligingsversterkers een kanteelspanning gekozen omdat de anodestroomstoten dan altijd een halve periode duren en de gemiddelde anodestroom dus onafhankelijk van de roosterspanning is. Voor de frequentie is 2000 Hz gekozen omdat het één periode kan duren voordat de relaisstroom wordt verbroken, bij 2000 Hz dus 0,5 milliseconde. Gevoegd bij de tijd van 4 milliseconden die het relais (type T 51C) nodig heeft om af te vallen, geeft dit een totale duur van maximaal 4,5 milliseconde. De eis is: minder dan 5 milliseconden; deze tijd is zo kort dat de vallende staven ook in het ongunstigste geval de reactie voldoende snel remmen.

Tot slot nog enkele woorden over de controle-inrichting en de kanteelspanningsgenerator.

De controle-inrichting

De werking van de beveiligingsinrichting kan op de volgende wijze worden gecontroleerd. Door indrukken van een knop wordt aan de ingang van de beveiligingsversterker een bepaalde gelijkstroom toegevoerd; dit moet tot gevolg hebben dat het relais afvalt. Bij indrukken van een andere knop wordt een ruim 10% kleinere stroom toegevoerd; daarbij mag het relais niet afvallen.

Beide stromen worden betrokken uit de gelijkspanningsbron van 300 V en zijn met een inwendig aangebrachte regelweerstand in te stellen.

De kanteelspanningsgenerator

De kanteelspanning van 2000 Hz wordt geleverd door een generator (*fig. 15*) die bestaat uit een multivibrator en een eindversterker, beide gevoed met 300 V gelijkspanning. De multivibrator (met een dubbele triode E 90 CC) levert een kanteelspanning van 140 V (280 V van top tot top, dus vrijwel het maximum dat met 300 V voedingsspanning bereikbaar is), die weinig afhankelijk van de buisgrootheden is. Laatstgenoemde spanning bestuurt een balanstrap met twee eindpentodes EL 34 in anodebasisschakeling. Deze schakeling heeft wel een laag rendement, maar een voordeel is dat buisgrootheden vrijwel geen invloed hebben op de spanningsversterking (die nagenoeg 1 is).

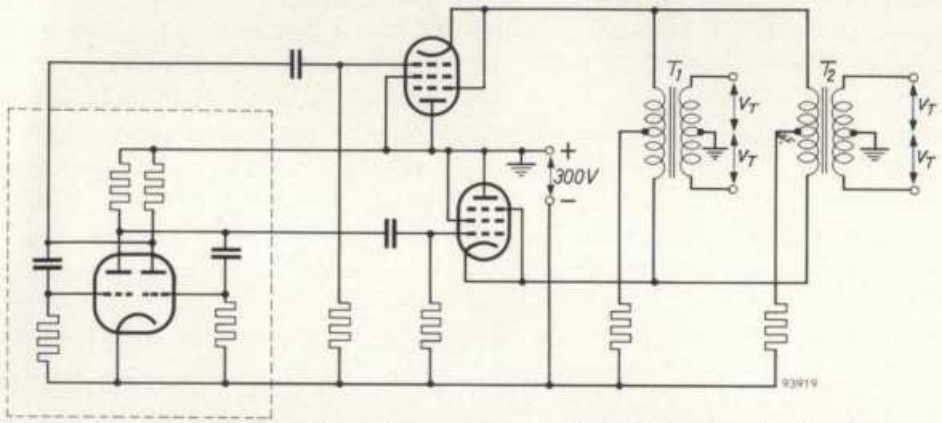


Fig. 15. Schema van de kanteelspanningsgenerator van 2000 Hz. Binnen de stippellijn: multivibrator met dubbele triode E 90 CC. Rechts hiervan: balanstrap met twee eindpentodes EL 34 in anodebasisschakeling. T_1 en T_2 zijn de uitgangstransformatoren, die ieder twee beveiligingsversterkers voeden.

Er worden twee uitgangstransformatoren gebruikt (T_1, T_2), die aan de primaire zijde parallel zijn geschakeld. Elk heeft twee secundaire wikkelingen en voedt twee beveiligingsversterkers (vgl. fig. 13). Door een vaste koppeling tussen primaire en secundaire spoelen is ervoor gezorgd dat de spanning geen uitslingeringen (in- en uitschakelverschijnselen) vertoont.

Samenvatting. Behandeld worden drie onderdelen van de hu'p-apparatuur behorend bij de kernreactor die, na tentoongesteld te zijn geweest op „Het Atoom", bestemd is voor de Technische Hogeschool te Delft. Deze onderdelen zijn:

1) Het logaritmische meetkanaal voor sterke neutronenflux. Behalve een ionisatiekamer, omvat dit: een logaritmische versterker, met een in het aanloopstroomgebied werkende triode als logaritmisch element; een „periodeversterker", die een spanning levert welke omgekeerd evenredig is met de periode van de kernreactie; een relaistrap, met twee relais, die veiligheidscontacten openen wanneer de periode afneemt tot 10 resp. 3 seconden; en verschillende ijkinrichtingen.
2) De gamma-indicator, met maximaal vier ionisatiekamers van 800 cm³ inhoud, gevuld met argon onder 15 atm. De ionisatiestroom wordt gemeten met een elektrometertetrode 4066, die ter vermijding van lekstroom gemonteerd is *in* de ionisatiekamer. Als schakel tussen deze buis en een gewoon relais fungeert een lichtrelais, waarbij ervan gebruik wordt gemaakt dat de stroom door een transistor bij belichting sterker is dan in het donker.
3) De beveiligingsversterker, die op „veilig falen" zijn ingericht, d.w.z. dat ze bij vrijwel alle denkbare inwendige storingen de reactor stopzetten, zodat de storingen nagenoeg geen vermindering van de veiligheid tot gevolg hebben, terwijl toch nodeloos stopzetten zoveel mogelijk wordt vermeden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN INSTALLATIE VOOR METEOROLOGISCHE WAARNEMINGEN MET EEN RADARSONDE

621.396.969:551.508.8

Het meten van atmosferische omstandigheden op grote hoogte is een belangrijk onderdeel van de meteorologie: inlichtingen omtrent deze omstandigheden zijn van belang voor het algemene meteorologische onderzoek, voor weervoorspellingen en voor de vliegdiensten. De eerste metingen van dit soort werden reeds in de 18e eeuw uitgevoerd met behulp van vliegers en bemande ballons. Systematische metingen zijn echter pas mogelijk geworden sedert de ontwikkeling van radio en radar. De meetapparaturen met radio- en radarsondes zijn derhalve als een van de belangrijkste aanwinsten in het instrumentarium van de meteoroloog te beschouwen.

In deze korte mededeling willen wij een beschrijving geven van een installatie met een radarsonde, die door de Mullard Research Laboratories te Salfords (Engeland) samen met het Britse Royal Radar Establishment is ontwikkeld. De installatie is bestemd om metingen uit te voeren van windsnelheid, windrichting, temperatuur, druk en vochtigheid op hoogten tot op zijn minst 24 km [1]). De apparatuur werkt automatisch en levert in het grondstation een doorlopend registrogram van de windvector als functie van de hoogte. Temperatuur, druk en vochtgehalte worden met tussenpozen die aan ongeveer 100 m hoogteverschil van de sonde beantwoorden, gemeten en in het grondstation geregistreerd.

Voor iedere meetreeks wordt een vrije, met waterstof gevulde, ballon opgelaten, die tot grote hoogte kan stijgen en waaraan de sonde is bevestigd. Deze, in *fig. 1* afgebeelde, sonde (die bij een groot percentage der ballonoplatingen niet teruggevonden wordt) bevat een kleine zender en ontvanger, met hulpapparatuur, en instrumenten voor de meting van temperatuur, druk en vochtigheid. De zender

[1]) Zie ook: F. E. Jones, J. E. N. Hooper en N. L. Alder, The radar sonde system for the measurement of upper wind and air data, Proc. Inst. El. Engrs. **98**, deel II, 461-469, 1951.
A. L. Maidens, Sounding the upper atmosphere, Discovery **18**, 156-160, 1957 (no. 4).

Fig. 1. Radarsonde met afgenomen deksel. Boven op de chassisplaat ziet men de ontvanger met zijn antenne, de roterende schakelaar, de elektronische apparatuur voor het overbrengen van de meetgegevens, de barometer en de batterijen. Rechts onder is afzonderlijk weergegeven de op 10 cm golflengte werkende zender en zijn antenne, die onder de chassisplaat worden gemonteerd. Het geheel is in een thermisch isolerende doos geplaatst. De meetinstrumenten voor vochtgehalte en temperatuur zijn bevestigd op armen, die buiten deze doos uitsteken.
De sonde wordt opgehangen aan een met waterstof gevulde ballon, die op de grond een doorsnede van ongeveer 2 meter heeft en die met een snelheid van ongeveer 360 meter per minuut opstijgt. In de ophanging van de sonde is een parachute aangebracht, die de sonde veilig op de grond terugbrengt nadat de ballon gebarsten is (op een hoogte van meer dan 25 km).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

brengt de meetuitkomsten gedurende de hele opstijging over, tot de ballon barst. De ballon kan een hoogte van meer dan 25 km bereiken en afstanden van meer dan 170 km van het startpunt afleggen. Met behulp van radar wordt de baan van de ballon vanuit het grondstation gevolgd en hieruit worden de gegevens verkregen om op elk ogenblik de windvector en de hoogte te bepalen. Met normale radarmethodes, waarbij een door het grondstation uitgezonden impulssignaal door het te volgen object wordt gereflecteerd, zou men een zeer groot zendvermogen nodig hebben om de ballon gedurende zijn gehele vlucht te kunnen volgen. Voor deze radarsonde is derhalve een systeem toegepast dat als „secundaire radar" wordt aangeduid. Elke keer als de in de sonde aanwezige ontvanger een door het grondstation uitgezonden impuls opvangt, zorgt hij ervoor dat de in de sonde aanwezige zender een impuls uitzendt (of in feite twee impulsen, zoals we straks zullen zien). In het grondstation meet men de tijd tussen het vertrek van de oproepimpuls en de aankomst van de antwoordimpuls. Men heeft daarmee een directe maat voor de afstand van de ballon; azimut en elevatie van de zendantenne, die automatisch op de ballon gericht wordt gehouden, leveren de nodige informatie betreffende de richting van de ballon.

Het oproepsignaal heeft een frequentie van 152,5 MHz en wordt uitgezonden met een piekvermogen van 50 kW en een herhalingsfrequentie van 404 impulsen per seconde. Het antwoordsignaal van de zender in de sonde heeft een frequentie van 2850 MHz en wordt met een piekvermogen van 0,03 kW uitgestraald.

Voor het verrichten van de gewenste metingen bevat de sonde een aneroïdebarometer, een hygrometer met goldbeaterskin en een weerstandsthermometer (*fig. 2*); bij verandering van de atmosferische omstandigheden treden in de eerste beide instrumenten veranderingen van afmetingen op, in het laatstgenoemde instrument veranderingen in elektrische weerstand. De veranderingen worden omgezet in spanningsvariaties, die op hun beurt een codeerschakeling besturen. Deze schakeling wordt telkens in werking gesteld door de oproepimpulsen, die de ontvanger doorgeeft, en ze produceert dan een eigen impuls, met een vertraging die van de stuurspanning afhangt. De zender van de sonde wordt zowel door deze vertraagde impuls als door de oproepimpuls in werking gesteld en zendt dus voor elke oproepimpuls een tweetal impulsen naar het grondstation terug. Het tijdsverschil tussen de twee impulsen van een paar stelt de „aflezing" van het meteorologische instrument voor. De stuurspannin-

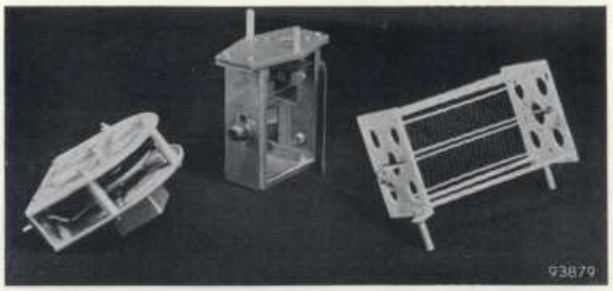


Fig. 2. Links de aneroïdebarometer; rechts de weerstandsthermometer; in het midden de hygrometer met goldbeaterskin. Barometer en hygrometer zijn van een normaal type. De thermometer echter is aanzienlijk verbeterd ten opzichte van vroegere types. Hij bevat een zeer dunne, dubbel gespiraliseerde wolfraamdraad en heeft een zeer kleine tijdconstante en een zeer geringe stralingsfout op grote hoogte.

gen van de drie instrumenten worden door een roterende schakelaar om beurten naar de codeerschakeling gevoerd, zodat elk instrument om de 17 seconden wordt afgelezen.

De op cm-golven werkende zender van de sonde bevat een zendtriode, die door een modulator met een blokkeeroscillator wordt bestuurd en die is gemonteerd in een coaxiale trilholte; deze is speciaal voor de fabricage van grote aantallen ontworpen. De zendantenne is een enkelpool met tegenwicht (fig. 1). Voor de voeding bevat de sonde drie batterijcellen en een trilleromvormer.

De grondapparatuur kan naar functie en opstelling in twee groepen worden verdeeld. De radargroep zorgt voor het uitzenden van de oproepimpulsen, het ontvangen van het antwoordsignaal en het bepalen van de gegevens betreffende de positie van de ballon (azimut, elevatie en rechtlijnige afstand van de ballon als functie van de tijd). De rekenmachinegroep leidt uit de gegevens betreffende de positie doorlopend de windsnelheid en windrichting af, decodeert de aflezingen van de meteorologische instrumenten en registreert alle uitkomsten in de vorm van grafieken en tabellen.

De radarapparatuur is in *fig. 3* en *4* afgebeeld. De zendantenne (een Yagi-antenne) en de ontvangantenne (een parabolische reflector) zijn op een gemeenschappelijk voetstuk gemonteerd, dat door een servomotorsysteem wordt aangedreven. De ontvangantenne is voorzien van een dipool, die een zodanige beweging maakt (nutatie) dat de nauwe antennebundel een kleine kegel beschrijft. Daardoor wordt in het ontvangen signaal een modulatie teweeggebracht wanneer de antenne niet precies naar de sonde is gericht. Het zo verkregen signaal, dat de afwijking aangeeft, wordt in het servosysteem gebruikt om het voetstuk van de beide antennes te besturen zodanig dat deze automatisch nauwkeurig

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

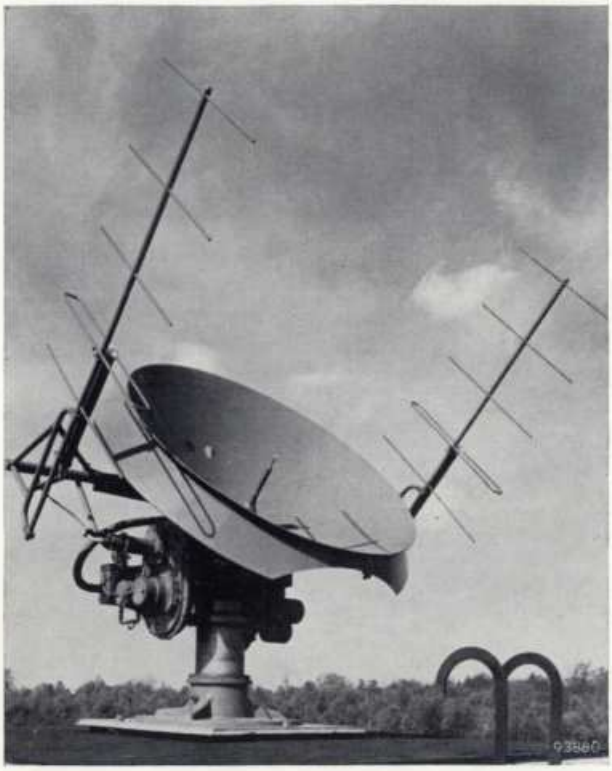


Fig. 3. De Yagi-antenne van het grondstation, die de oproepimpulsen met een golflengte van 2 meter en een vermogen van 50 kW uitzendt, en de ontvangantenne, die bestaat uit een parabolische reflector met een diameter van 1½ meter en een nuterende dipool. De beide antennesystemen zijn samen op een voetstuk gemonteerd en worden automatisch op de ballon gericht gehouden.

op de ballon gericht blijven. De ontvanger, die is voorzien van automatische regelingen voor versterking en frequentie, versterkt het van de ballon afkomstige signaal en voert dit toe aan de apparaten voor de automatische bepaling van de afstand en het decoderen van de meetgegevens. De apparatuur voor de afstandsbepaling is van een geheel nieuw type. De verandering van afstand van de ballon wordt hierbij omgezet in een rotatie van een fazedraaiende transformator; de draaisnelheid van deze transformator is derhalve een nauwkeurige maat voor de radiale snelheid van de ballon (radiale windcomponent). Eén volle omwenteling van 360° beantwoordt aan een verandering in afstand van een tiende zeemijl. Met de fazedraaiende transformator kunnen derhalve fracties van een tiende zeemijl worden gemeten; gehele tiende zeemijlen bepaalt men door het aantal trillingen van een geijkte kristaloscillator te tellen dat tussen de oproep- en de antwoordimpuls optreedt. Deze kristaloscillator regelt de impulsherhalingsfrequentie van de zender en oscilleert met een periode die nauwkeurig aan een tiende zeemijl afstandsverschil in de radarmetingen beantwoordt. Op een controlelessenaar wordt het ontvangen signaal zichtbaar gemaakt en kunnen afstand R, azimut Θ en elevatie E rechtstreeks worden afgelezen (fig. 4). Deze lessenaar bevat ook de met de hand te bedienen regelknoppen waarmee de afstandsmeting en de stand van de antennes aan het begin van elke ballonoplating kunnen worden geregeld totdat men de apparatuur op automatische werking overschakelt.

Voor de doorlopende berekening van de (aan het aardoppervlak evenwijdige) windvector gaan we uit van de tangentiële en radiale windcomponenten, die gegeven worden door de vergelijkingen (in poolcoördinaten):

$$V_T = R\,(\mathrm{d}\Theta/\mathrm{d}t)\cos E\,,$$

$$V_R = (\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)\cos E - R\,(\mathrm{d}E/\mathrm{d}t)\sin E.$$

Fig. 4. De radar-apparatuur. In het linkerpaneel is de 50 kW-zender ondergebracht, in het rechterpaneel de ontvanger voor 10 cm-golven en de apparatuur voor het automatisch bepalen van de afstand van de ballon en de richting van de antenne. In het midden de controle-lessenaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Belangrijk is dat in deze vergelijkingen de afgeleiden van de rechtlijnige afstand R en het azimut Θ naar de tijd t voorkomen, d.w.z. de radiale snelheid en de hoeksnelheid. De schakelingen voor de afstands- en de richtingsbepaling zijn zo ontworpen dat zij signalen leveren die rechtstreeks evenredig met deze snelheden zijn. De rekenmachine die de uit V_T en V_R resulterende windvector bepaalt, is in *fig. 5* afgebeeld. Het is een analogon-rekenmachine, waarin precisie-potentiometers worden toegepast voor vermenigvuldigingen, en elektrische assen („magslips", „synchros") voor trigonometrische berekeningen. De rotor van de elektrische as die de driehoeksberekening voor het afleiden van grootte en richting van de windvector uit V_T en V_R uitvoert, neemt een stand aan die op elk ogenblik aan de windrichting beantwoordt. Aan de rotor-as is een registreertafel van 1,20 meter diameter rechtstreeks gekoppeld, en een registreerpen wordt met constante snelheid in radiale richting over de tafel gevoerd. De pen tekent derhalve een grafiek van de momentele windrichting als functie van de tijd op. In de rotorwikkeling van de elektrische as wordt een spanning geïnduceerd die evenredig is met de grootte van de windvector; deze spanning wordt door een normale schrijvende voltmeter geregistreerd. De hoogte van de ballon, gecorrigeerd voor de kromming van de aarde, wordt met soortgelijke analogonmethodes berekend, en eveneens doorlopend als functie van de tijd geregistreerd.

De grondapparatuur voor het „aflezen" van de meteorologische instrumenten ziet men in *fig. 6*. Deze apparatuur identificeert de gecodeerde, van de ballon afkomstige, signalen, meet nauwkeurig het tijdsverschil tussen elk paar antwoordimpulsen

Fig. 5. Rekenmachine voor de windvector. Een elektrische as („magslip", „synchro") geeft aan de draaibare tafel met een diameter van 1,20 meter op elk ogenblik een stand die beantwoordt aan de berekende windrichting. Een registreerpen, die met constante snelheid langs een vaste straal beweegt, registreert een grafiek van de windrichting als functie van de tijd (zie fig. 7).

en codeert het resultaat weer zodanig dat het door een normaal telextoestel kan worden uitgetikt. Voor het meten van het tijdsverschil stuurt men periodieke, uit een kristaloscillator afkomstige, impulsen met tussenpozen van 1 μsec door een poortschakeling, welke geopend wordt door de eerste antwoordimpuls (die voor de afstandsbepaling dient) en gesloten door de tweede antwoordimpuls (die de over te brengen aflezing bevat). Het totale aantal van de periodieke impulsen dat doorgelaten wordt in 500 openingstijden van de poortschakeling, dus dat overeenkomt met 500 paren van antwoordim-

Fig. 6. Apparatuur voor het opnemen van de meetgegevens. In het linkerpaneel bevinden zich de apparaten voor het registreren van windsnelheid en hoogte, in het rechterpaneel de codeerinrichtingen en de apparaten voor het registreren van temperatuur, druk en vochtigheid, in het middelste paneel een cijfer-rekenmachine en een telextoestel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

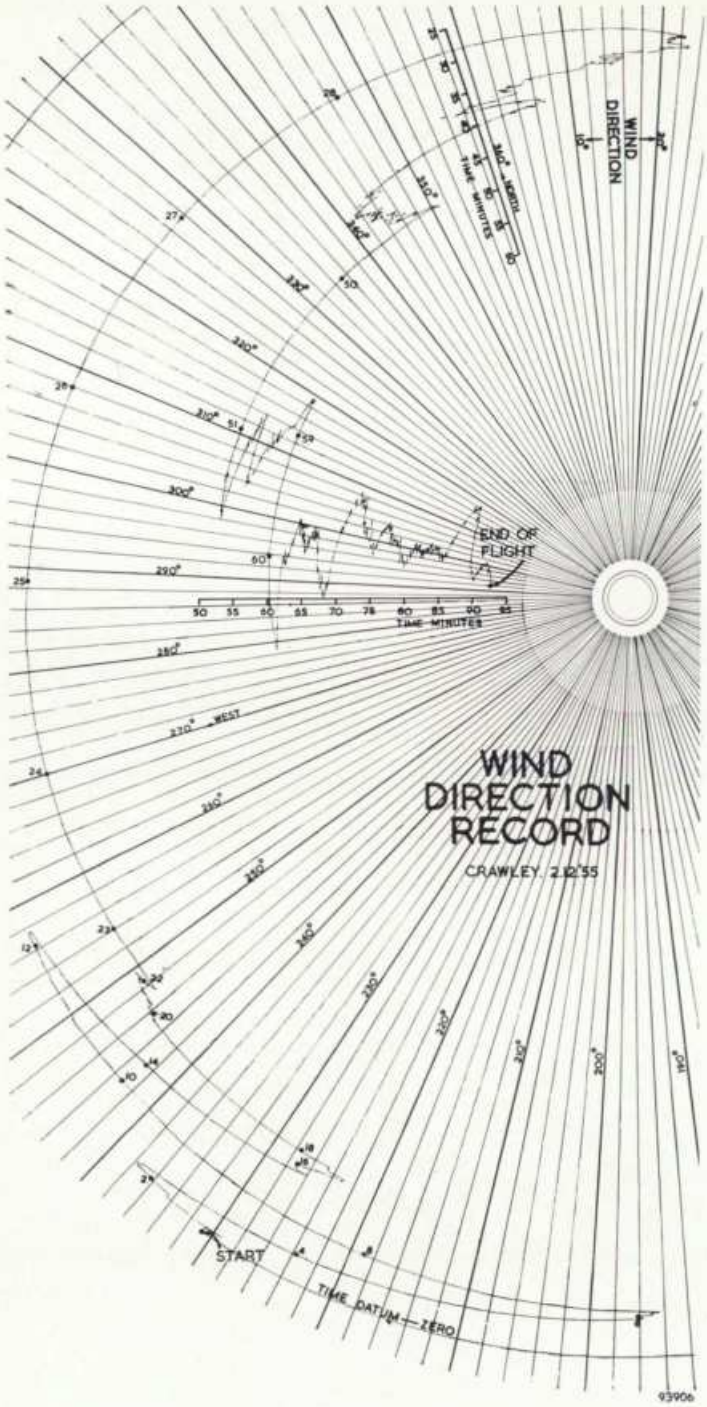


Fig. 7

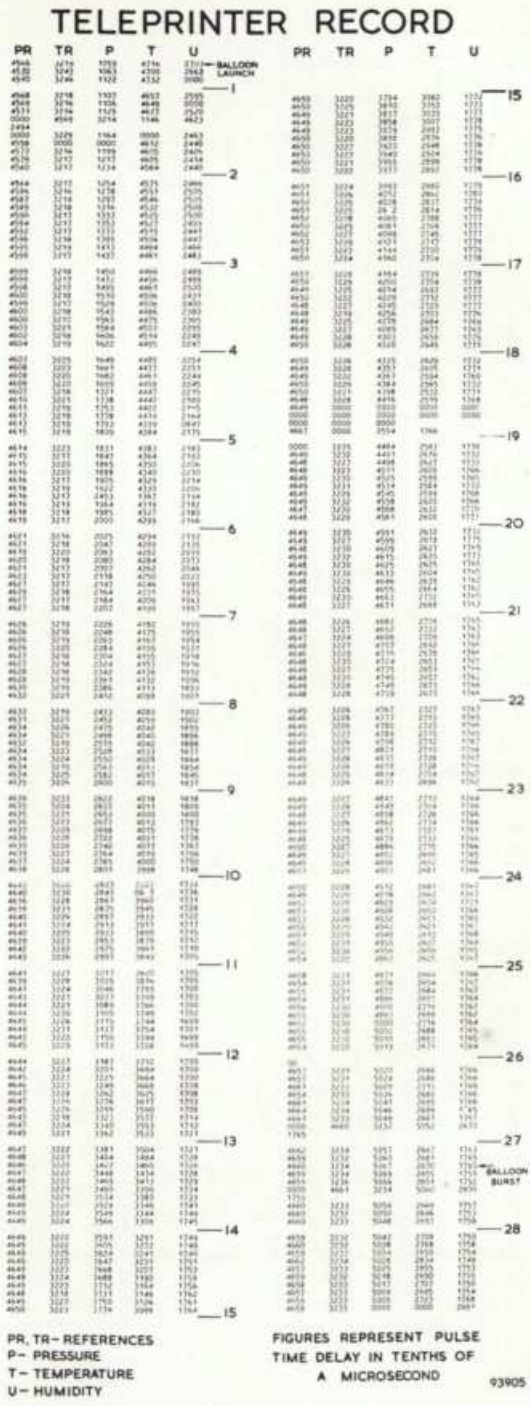


Fig. 8

Fig. 7. Registrogram van de windrichting, dat bij een ballonopstijging met de radarsonde werd verkregen.
Fig. 8. Door het telextoestel getikte tabel van de meetuitkomsten bij een ballonoplating met de radarsonde.

pulsen, wordt elektronisch geteld en het gemiddelde tijdsverschil wordt aan de codeermachine voor het telextoestel toegevoerd. De getallen worden door het telextoestel in vijf kolommen van ieder vier cijfers uitgetikt. De kolommen beantwoorden aan de drie meteorologische gegevens en aan twee vergelijkingssignalen, die eveneens door de sonde worden uitgezonden. Tussen opeenvolgende schakelcyclussen van de sonde worden telkens codesignalen ingelast die ervoor zorgen dat de meetuitkomsten in de juiste kolommen worden getikt.

Registrogrammen van enige ballonoplatingen, die verder wel geen toelichting behoeven, zijn in de *fig. 7, 8* en *9* weergegeven. De apparatuur kan wind-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

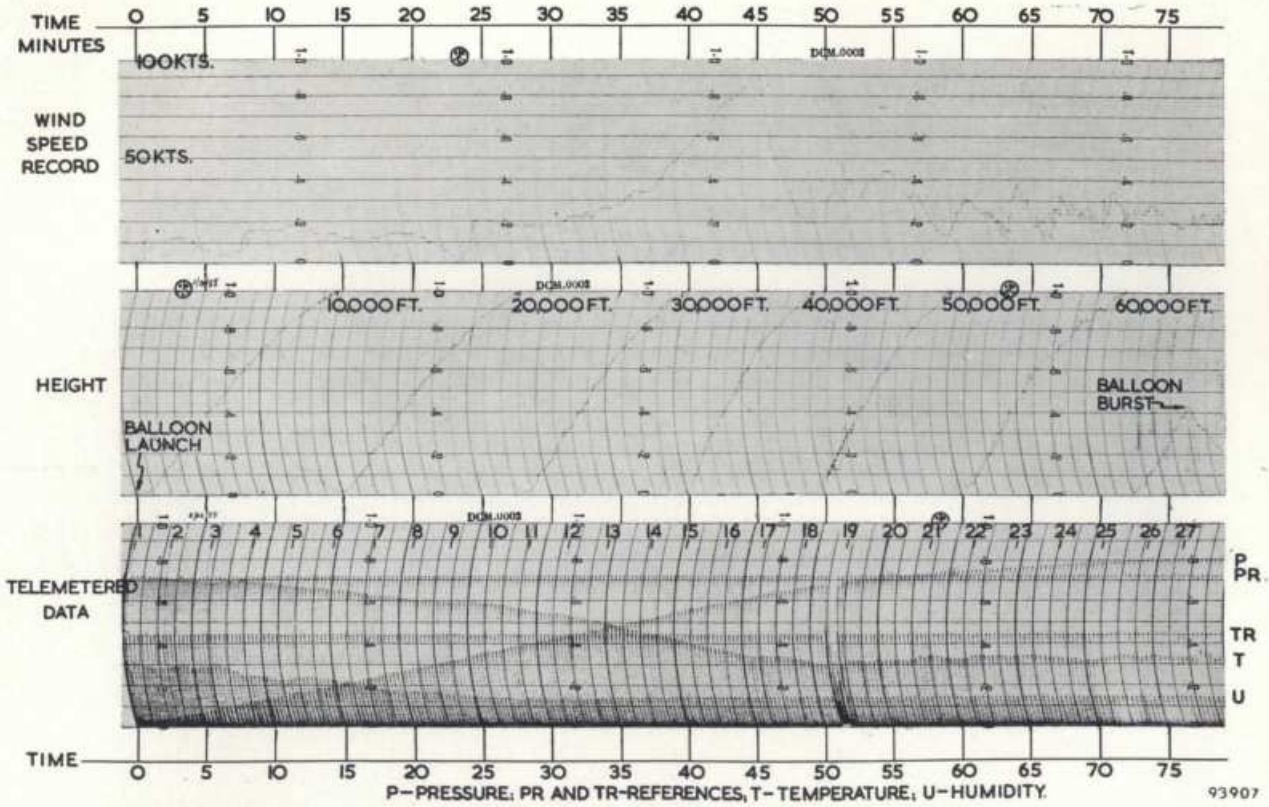


Fig. 9. Registrogrammen van de berekende windsnelheid en hoogte en de gemeten meteorologische gegevens, verkregen met de radarsonde.

snelheden meten met een fout van niet meer dan 5 km per uur. In de kanalen voor het overbrengen van de meteorologische gegevens bedraagt de fout ongeveer 0,1%, maar op dit ogenblik dragen de meteorologische instrumenten zelf nog iets grotere fouten bij.

De als prototype gebouwde installatie wordt thans beproefd om haar geschiktheid voor routinemetingen en speurwerk na te gaan.

De auteurs zijn dank verschuldigd aan de directie van Mullard Research Laboratories, aan het Ministry of Supply en aan het Meteorological Office voor de verleende toestemming tot het publiceren van deze mededeling.

N. E. GODDARD *) en H. A. DELL *).

*) Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GETTERSPIEGELS VAN BARIUM

door J. J. B. FRANSEN en H. J. R. PERDIJK.

621.385.1.032.928

Gedurende de vele jaren dat men reeds radio- en andere elektronenbuizen en masse produceert, is een uitgebreide ervaring opgedaan omtrent de wijze waarop men het beste te werk kan gaan bij het aanbrengen van bariumspiegels die als gasbinder moeten fungeren. Het „waarom" van deze regels is echter tot nu toe niet in alle opzichten duidelijk, alhoewel daaromtrent reeds vrij veel onderzoek is gedaan.

In het hier volgende artikel lanceren de auteurs een, op experimenten van diverse aard gebaseerde, hypothese omtrent de structuur en de wijze van ontstaan van de bariumspiegels die in de meeste in de handel verkrijgbare elektronenbuizen voorkomen. Deze hypothese is zeer eenvoudig en maakt een ongedwongen verklaring mogelijk van hun experimentele resultaten.

In elektronenbuizen mag tijdens het gebruik geen toeneming van de gasdruk optreden. De in een radiobuis vrijkomende gassen veroorzaken in ieder geval een toeneming van de roosterstroom en kunnen aanleiding geven tot het optreden van ongewenste chemische reacties. Een chemische reactie met de katode kan leiden tot vermindering van de emissie, en een reactie met de stoffen die men wel gebruikt om roosters te bedekken, verandert de karakteristieken van de desbetreffende buis. Ook adsorptie aan het oppervlak van een rooster kan de gesteldheid daarvan reeds zodanig veranderen dat de karakteristieken van de buis erdoor beïnvloed worden. Bij een met gas gevulde elektronenbuis zullen door verontreiniging van het vulgas de ontsteek-, de brand- en de doofspanning veranderen.

Ten einde de toeneming van de druk in een afgesmolten elektronenbuis zoveel mogelijk te beperken, doet men de onderdelen een geschikte voorbehandeling ondergaan en wordt de buis tijdens het evacueren ontgast door verhitting, eventueel gecombineerd met een elektronenbombardement. Toch voorkomt men het vrijkomen van gas hiermede niet geheel en al. De gassen waarom het hier gaat, zijn, naar aan ons en anderen gebleken is, in hoofdzaak koolmonoxyde en waterstof en in mindere mate water. In bepaalde gevallen kunnen ook stikstof, zuurstof en kooldioxyde voorkomen [1]).

Om deze gassen weg te nemen, voorziet men iedere buis van een „inwendige pomp", die gedurende zijn ganse levensduur blijft functioneren. Deze pomp is niets anders dan een zekere hoeveelheid van een stof (het gettermateriaal) die in staat is de desbetreffende gassen (meestal chemisch) te binden. Ten einde te bereiken dat dit snel gebeurt en op zodanige wijze dat een zo groot mogelijk deel van het gettermateriaal op den duur ook werkelijk kan reageren (en niet b.v. door afsluiting inactief wordt gemaakt), is het meestal noodzakelijk dat dit materiaal op speciale wijze in de ballon van de elektronenbuis wordt aangebracht.

De stof die het allereerst is toegepast om gassen te binden, is fosfor. Men gebruikt deze in gloeilampen ook thans nog. In radiobuizen kwam al dra magnesium in gebruik. Heden ten dage zijn de gettermaterialen die het meest in elektronenbuizen worden gebruikt, barium (voor radiobuizen en televisieweergeefbuizen) en zirconium (voor zendbuizen).

We zullen ons in dit artikel verder uitsluitend bezig houden met het voor de buizenfabricage zo belangrijke barium. Vooruitlopende op de bijzonderheden die we straks nog zullen vermelden over de techniek van het gebruik van barium als gasbindend materiaal, zij hier reeds medegedeeld dat het metaal in de gerede buis aanwezig is in de vorm van een dunne laag, die zich op een gedeelte van de ballonwand bevindt. Aan de hand van een aantal door ons uitgevoerde experimenten zullen we trachten een beeld te ontwerpen van de fysisch-chemische achtergrond van de — uit de praktijk goeddeels reeds bekende — regels die in acht genomen moeten worden bij het aanbrengen van de genoemde bariumlaag. Het in dit beeld passende idee omtrent de structuur van de bariumlaag wordt bevestigd door onderzoek met behulp van een elektronenmicroscoop. Tevens zal aangetoond worden welke chemische reactie naar alle waarschijnlijkheid verantwoordelijk is voor de absorptie van koolmonoxyde.

Allereerst echter bespreken we enige technische aspecten van het werken met barium.

Het gebruik van barium als gasbindend materiaal

In de beginperiode van het gebruik van barium als gasbindend materiaal werkte men meestal met nikkelen buisjes waarin het vrije element was opgezogen.

[1]) Vgl. S. Wagener, Vacuum **3**, 11, 1953, die ook vermeldt door welke onderdelen van een buis een bepaald gas wordt afgegeven. Zie ook J. Peper, Philips techn. T. **19**, 266-268, 1957 (no. 9).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

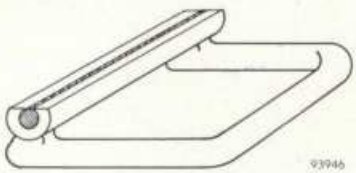
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Korte stukjes van een dergelijk met barium gevuld buisje werden op een geschikte plaats in de elektronenbuis aangebracht en na het evacueren van de buis verhit. Het barium verdampte en sloeg in een dunne laag (de getterspiegel) neer op de glazen wand van de ballon. Deze techniek wordt thans vrijwel niet meer toegepast, in hoofdzaak omdat de genoemde „verpakking" — de zg. getterhouder — het barium gedurende de tijd die verloopt tussen de produktie en de verwerking in een radiobuis, niet voldoende vrijwaart voor bederf.

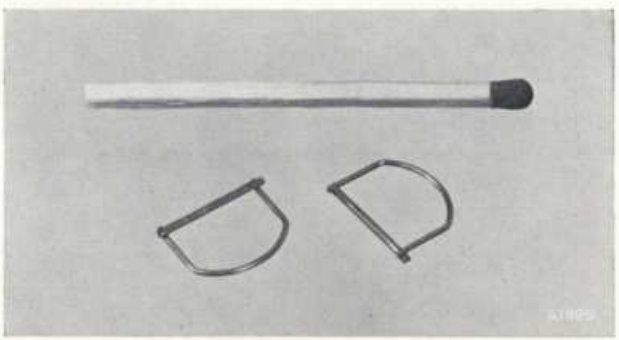
Later is men overgegaan op het gebruik van getterhouders waarin zich een zekere hoeveelheid van een aan de lucht niet bedervende bariumverbinding bevindt. Tegenwoordig het meest in gebruik is een barium-aluminiumlegering die één atoom barium op vier atomen aluminium bevat. We zullen in dit artikel dan ook uitsluitend spreken over getterspiegels die uit dit materiaal ontstaan zijn.

Typen van getterhouders

Naar gelang van de hoeveelheid barium die men wenst te kunnen verdampen, gebruikt men getterhouders van verschillende vorm. Indien slechts kleine



a



b

Fig. 1. *a*) Schematische voorstelling van een getterhouder die de vorm heeft van een overlangs geopend buisje. De daarop gelaste beugel maakt het mogelijk het geheel inductief te verhitten.
b) Foto van twee dergelijke getterhouders.

hoeveelheden nodig zijn, gebruikt men in de regel ijzeren buisjes die aan één zijde overlangs geopend zijn. Op deze buisjes is een beugeltje van nikkel gelast (zie *fig. 1*). Het gesloten circuit dat door buisje en beugeltje gevormd wordt, maakt het mogelijk de getterhouder te verhitten door middel

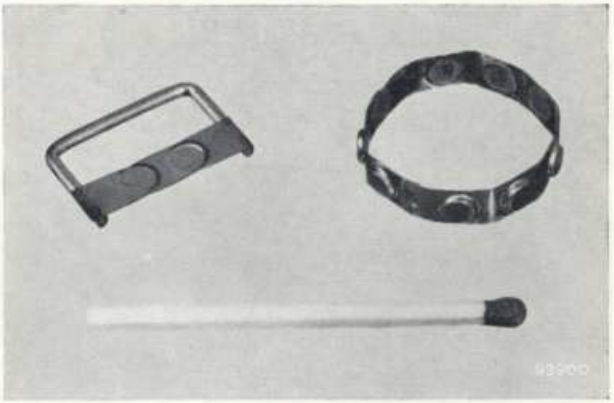
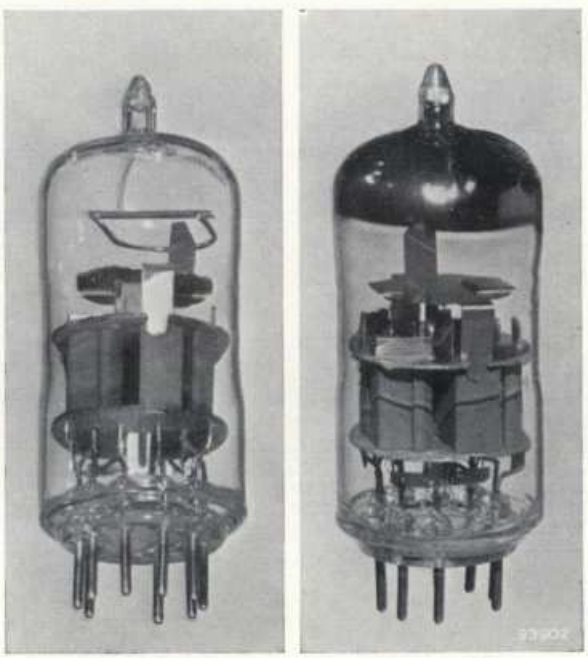


Fig. 2. Getterhouders gemaakt van een metalen bandje waarin „putjes" geperst zijn. De putjes bevatten pillen van het bariumleverende materiaal. Om inductieve verhitting mogelijk te maken, is bij de ene aan het bandje een beugel gelast (zg. beugelbandgetter). De andere bestaat uit een bandje dat zo lang is dat het kan worden omgebogen tot een ring (zg. ringbandgetter).

van hoogfrequente inductiestromen. Door deze verhitting treedt een reactie op, waarbij het aluminium zich verbindt met het ijzer van het buisje, en barium ontwijkt.

Indien grotere hoeveelheden barium nodig zijn, gebruikt men getterhouders die b.v. gemaakt zijn van een metalen bandje waarin op gelijke afstanden putjes zijn geperst. Ieder van deze putjes is gevuld met een zg. pil, die bestaat uit het bariumleverende materiaal. Korte stukjes van een dergelijk bandje, b.v. twee pillen bevattend, kunnen voor inductieve verhitting geschikt gemaakt worden door ze, evenals



a *b*

Fig. 3. Radiobuis waarin een getterhouder van het type van fig. 1 is aangebracht, *a*) vóór, *b*) na het verdampen van het barium.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

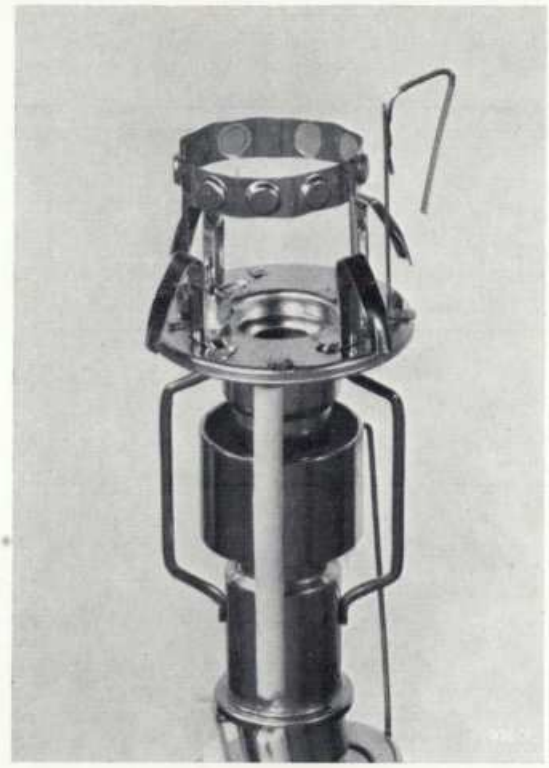


Fig. 4. Gedeelte van het elektrodesysteem van een televisieweergeefbuis met daarop gemonteerd een getterhouder van het ringbandtype (fig. 2). Ten einde beïnvloeding van de elektronenbundel te vermijden, moet in televisieweergeefbuizen de getterhouder van niet-magnetisch materiaal gemaakt zijn.

met de ijzeren buisjes geschiedt, te voorzien van een beugeltje; langere stukken kan men rondbuigen tot een ring (*fig. 2*). De *fig. 3a* en *4* tonen hoe aan een gemonteerd elektrodesysteem van een radiobuis en van een televisieweergeefbuis de voor die buizen gangbare getterhouders bevestigd zijn.

Het verdampen van het barium; de doorsmeltkromme

Het barium dat bij het verhitten van de getterhouder ontwijkt, slaat in de naaste omgeving daarvan neer op de wand van de ballon. De aldus ontstaande bariumspiegel heeft in de regel een glanzend uiterlijk en is ca. 1 μ dik. Fig. 3*b* toont dezelfde radiobuis als fig. 3*a* nadat op de wand daarvan een spiegel is aangebracht.

Bij het verhitten van de getterhouder dient rekening gehouden te worden met de volgende overwegingen. Voert men een groot vermogen toe, dan loopt men gevaar dat de getterhouder reeds doorsmelt voordat voldoende barium verdampt is. Kiest men anderzijds het vermogen slechts weinig groter dan juist nodig is om de verdamping te doen beginnen, dan zullen reeds kleine variaties, zowel in de instelling van de generator voor hoogfrequentieverhitting als in de eigenschappen van de getterhouder plus vulling, grote variaties teweegbrengen in de hoeveelheid barium die in een zekere tijd verdampt. Bovendien gaat dan de verdamping uiteraard langzaam, zodat het proces langdurig voortgezet moet worden. Gedurende deze lange tijd bestraalt de hete getterhouder de wand van de ballon, die daardoor in temperatuur zal stijgen; in het volgende zal nog blijken waarom dit niet wenselijk is.

Men kan iedere toegepaste manier van verhitten grafisch voorstellen door een punt waarvan de ordinaat is de tijd t na verloop van welke het eerste neergeslagen barium zichtbaar wordt (dit is een maat voor het toegevoerde vermogen), en de abscis de tijd T gedurende welke verhit werd. Ten einde snel te kunnen beoordelen of een bepaalde combinatie van vermogen en tijdsduur van de verhitting toelaatbaar is in verband met de kans op doorsmelten, is het nuttig gebleken ieder type getterhouder te karakteriseren door middel van zijn zg. doorsmeltkromme. Men verkrijgt deze als volgt. Een aantal exemplaren van het te beschrijven type getterhouder (gevuld met bariumleverend materiaal) wordt verhit met voor ieder exemplaar een ander vermogen. Gemeten worden de genoemde tijd t en de waarde τ van de verhittingstijd na welke doorsmelten optreedt. In de figuur wordt dan het gedrag van ieder exemplaar weergegeven door één punt met τ als abcis en t als ordinaat (*fig. 5*). Men trekt nu een kromme die (aan de kant van hoge t- en lage τ-waarden) de „omhullende" is van de gevonden groep punten; deze kromme is de doorsmeltkromme.

Het is duidelijk dat werkpunten (combinaties t, T) die zodanig gekozen zijn dat doorsmelten niet optreedt, zich in de figuur in de regel links van de

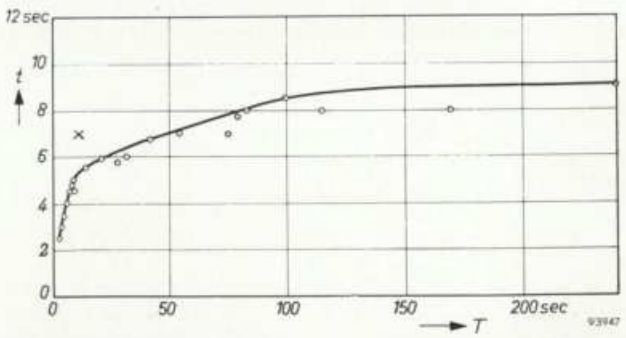


Fig. 5. Doorsmeltkromme van de Philips getterhouder R 1 679 51. De tijd t na welke men het eerste barium ziet neerslaan, en de waarde τ van de verhittingstijd T na welke de houder doorsmelt, worden gemeten. Iedere meting wordt in de figuur voorgesteld door één punt, waarvan τ de abscis is en t de ordinaat. Naarmate het toegevoerde vermogen groter is, zijn t en τ kleiner. De „omhullende" die men aan de zijde van grote waarden van t langs de meetpunten kan trekken, is de doorsmeltkromme. Uit de figuur is direct af te lezen welke verhittingsduur bij bepaalde t (d.w.z. bij bepaald toegevoerd vermogen) niet mag worden overschreden. Het bij de hieronder te bespreken proeven met dit type getterhouder gebruikte werkpunt ($t = 7$, $T = 11$ sec) is aangegeven met $\times$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

doorsmeltkromme zullen bevinden. Men kan met behulp van de figuur snel een antwoord vinden op de vraag hoe men de omstandigheden moet kiezen om in korte tijd een zo groot mogelijke (en zo min mogelijk variabele) fractie van het beschikbare barium te verdampen.

Absorptiecapaciteit en pompsnelheid

Ten einde de prestaties van een gasbinder te kunnen beschrijven, maakt men gebruik van de begrippen absorptiecapaciteit en pompsnelheid.

Onder de absorptiecapaciteit verstaan we de maximale hoeveelheid gas die door een bepaalde gasbinder (i.c. bariumspiegel) in totaal gebonden kan worden.

De pompsnelheid a wordt gedefinieerd door de formule:

$$\frac{dQ}{dt} = p\,a, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin het differentiaalquotiënt in het linkerlid de per tijdseenheid „weggepompte" (gebonden) hoeveelheid gas voorstelt en p de druk van het gas is. De waarde van a hangt, behalve van de kwaliteit van de gasbinder, af van de aard van het te absorberen gas. Men is gewoon p uit te drukken in microns Hg, Q in litermicrons [2]) en t in seconden. De pompsnelheid a wordt dus uitgedrukt in liter per seconde, de absorptiecapaciteit uiteraard in litermicrons (lμ).

Het is gebleken dat het voor de beschrijving van de kwaliteit van een bariumspiegel noodzakelijk is, naast deze grootheden, die dus gelden voor een gehele spiegel, ook overeenkomstige grootheden te definieren die betrokken zijn op één mg barium resp. één cm² van de door de spiegel ingenomen oppervlakte. Deze specifieke grootheden zijn dus resp. de absorptiecapaciteit per mg (eenheid: lμ/mg), de absorptiecapaciteit per cm² (lμ/cm²), de pompsnelheid per mg (l/sec mg) en de pompsnelheid per cm² (l/sec cm²).

Het meten van de pompsnelheid

De door ons verrichte pompsnelheidsmetingen zijn uitgevoerd met behulp van de in *fig. 6* geschetste opstelling. De te onderzoeken bariumspiegel bevindt zich in de ballon C, die via de capillair W met de ruimte A is verbonden. Verder is A via de (uit de kranen g_1 en g_2 bestaande) „sluis" L verbonden met het gasreservoir B, en via de koeler R en de kraan g_3 met de kwikdiffusiepomp P. Met de Pirani-manometer M kan de druk in A gemeten worden; de sluis L maakt het mogelijk steeds een bekende hoeveelheid gas in A toe te laten.

De gang van zaken bij een meting was als volgt. Vóór het aanbrengen van de te onderzoeken spiegel werden de ruimten C, A, R en L geëvacueerd (g_3 open, g_1 gesloten). Nadat de spiegel geformeerd was, werd g_3 gesloten en werd door middel van de sluis L een hoeveelheid gas toegelaten tot de ruimte A. Vanaf dit moment werd het drukverloop in A gevolgd. Het in A aanwezige gas kon immers via W naar C stromen, en wel met een snelheid die, behalve door de weerstand van W, bepaald wordt door de druk in C, d.w.z. door de snelheid waarmee de bariumspiegel het in C aankomende gas bindt.

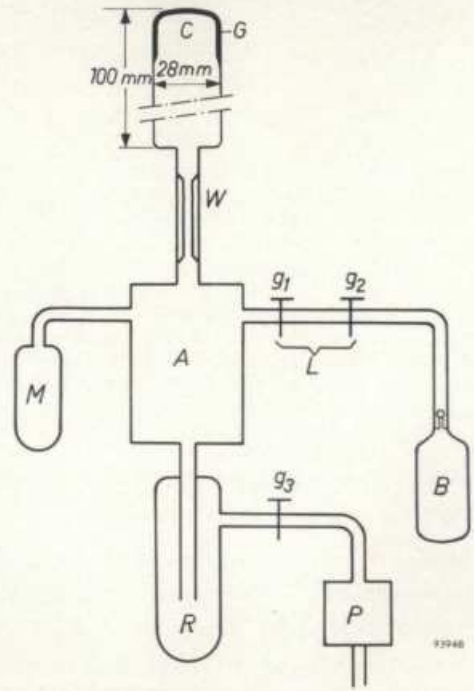


Fig. 6. Schematische voorstelling van de opstelling die gebruikt werd bij het meten van de „pompsnelheid" van een bariumspiegel. Van het in B aanwezige gas kan via de, uit de kranen g_1 en g_2 bestaande, sluis L een constante hoeveelheid tot de ruimte A worden toegelaten. Via de capillair W stroomt het gas naar de ruimte C, op welks wand zich de te onderzoeken bariumspiegel G bevindt. Het verloop van de druk in A, dat gemeten kan worden door middel van de Pirani-manometer M, wordt bepaald door het geleidingsvermogen van de genoemde capillair en de te meten pompsnelheid.

Stelt men de drukken in A en C resp. voor door p_1 en p_2, het totale volume van A, R, L en M door V_1, dat van C door V_2, het geleidingsvermogen van W door F, de tijd door t en de pompsnelheid weer door a, dan kan hetgeen gebeurt, beschreven worden door de volgende vergelijkingen:

$$V_1 \frac{dp_1}{dt} = -F\,(p_1 - p_2), \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$V_2 \frac{dp_2}{dt} = F(p_1 - p_2) - a\,p_2. \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Wanneer $V_1 \gg V_2$, zodat V_1 en $(V_1 + V_2)$ beide gelijk aan V gesteld mogen worden, en a en F constant zijn, is de oplossing:

$$p_1 = p_0 \exp\left\{-\frac{t}{(1/a + 1/F)V}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

$$p_2 = \frac{p_0}{1 + a/F} \exp\left\{-\frac{t}{(1/a + 1/F)V}\right\} \quad \ldots \quad (5)$$

[2]) Het vergelijken van hoeveelheden gas uitsluitend door middel van het produkt van volume en druk heeft uiteraard alléén zin wanneer de temperatuur steeds dezelfde is. De in dit artikel meegedeelde numerieke resultaten gelden voor kamertemperatuur.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Hierin is p_0 de beginwaarde van p_1. Zoals vermeld, werd de druk in A gemeten als functie van de tijd. Uit vergelijking (4) volgt dat enkellogaritmisch uitzetten van de gemeten p_1 tegen t een rechte zal opleveren. Bij voldoende kleine gasinlaat is dit gedurende het verloop van één meting inderdaad het geval. *Fig. 7* toont een schaar van dergelijke rechten, die verkregen zijn bij metingen met waterstof. Men ziet daar hoe a kleiner wordt naarmate de bariumspiegel meer gas gebonden heeft.

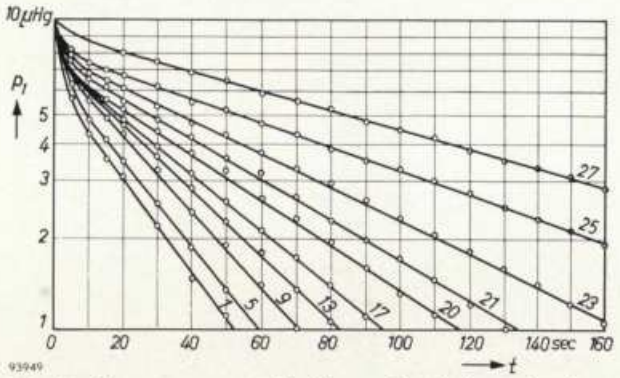


Fig. 7. Gemeten pompsnelheid van één bariumspiegel voor waterstof. Uitgezet is het verband tussen de logaritme van de druk die in de meetruimte heerst, tegen de tijd die sinds het toelaten van een portie gas is verlopen; na korte tijd is dit verband lineair. Naarmate meer gas is geabsorbeerd, neemt de absorptiesnelheid af en verloopt de curve minder steil. Getekend is het drukverloop na de 1e, 5e, 9e enz. gasinlaat.

De kwaliteit van een bariumspiegel in verband met zijn structuur en zijn ontstaanswijze

De kwaliteit van een bariumspiegel als gasbinder is gebleken van vele factoren af te hangen en geenszins uitsluitend bepaald te worden door de hoeveelheid barium die erin aanwezig is, of door de oppervlakte van de glaswand die met barium bedekt is. Behalve factoren als de vorm van de getterhouder en de hoeveelheid zich daarin bevindend barium, het al of niet van te voren ontgassen van de getterhouder en de wijze van verhitten bij het verdampen van het barium, zijn van belang: de temperatuur van de ballon, de afstand van de getterhouder tot de ballon en het tijdens de verdamping eventueel aanwezig zijn van gas in de buis.

Bij experimenteel onderzoek naar de invloed van ieder van de genoemde factoren is het uiteraard noodzakelijk de overige zoveel mogelijk constant te houden. Ten aanzien van sommige factoren, zoals b.v. de temperatuur, is het in principe duidelijk wat men daartoe te doen heeft; een beschrijving ervan levert ook geen probleem op. Andere daarentegen (vorm enz.) zijn binnen een reeks experimenten ongetwijfeld wel constant te houden, maar zijn moeilijker te beschrijven en worden in sommige publikaties dan ook wat stiefmoederlijk behandeld. Dit heeft ten gevolge dat de in die publikaties vermelde resultaten kwantitatief meestal nauwelijks met andere vergeleken kunnen worden [3]).

[3]) Zo zijn waarnemingen van Wagener (Vacuum **3**, 11, 1953) omtrent de absorptie van waterstof in strijd met die van Della Porta (Vacuum **4**, 284, 1954). Onze resultaten sluiten aan bij die van de eerstgenoemde auteur.

Op grond van de hieronder te beschrijven experimenten en van de door ons en anderen met bariumspiegels opgedane ervaring, menen wij dat men zich het ontstaan van een spiegel en zijn structuur als volgt moet voorstellen.

Wanneer de getterhouder, die het uitgangsmateriaal bevat, verhit wordt, ontwijkt niet alleen barium, maar komen er ook gassen vrij; een getterhouder kan nl. niet geheel ontgast worden. Er is reden om aan te nemen dat dit ten gevolge heeft dat het barium niet in atomaire vorm van de getterhouder naar de wand vliegt, maar als een „mist" van kleine druppeltjes. De diameter van deze druppeltjes wordt reeds vastgelegd in de directe omgeving van de getterhouder.

Het mechanisme van dit proces zou aldus kunnen zijn dat er dicht bij de getterhouder vrij veel botsingen tussen gasmoleculen en bariumatomen plaatsvinden waardoor bariumdamp condenseert tot de juistgenoemde mist [4]). Er zijn echter ook argumenten die er voor pleiten dat het barium reeds in de vorm van druppeltjes van de getterhouder vertrekt.

In ieder geval zal een uit zo'n mist ontstane bariumspiegel bestaan uit een poreuze stapeling van bariumbolletjes. Het „microscopisch" oppervlak van zo'n spiegel is (per mg barium) groter naarmate de bariumbolletjes kleiner en minder samengesmolten zijn. Het samensmelten zal des te minder optreden naarmate de temperatuur van de buiswand en ook (op het moment van aankomst) die van de bolletjes lager is.

Opnamen van het oppervlak van bariumspiegels, gemaakt met een elektronenmicroscoop, wijzen in dezelfde richting (*fig. 8*). De oppervlakken van twee spiegels die resp. 0,9 en 2,6 mg barium bevatten (op een oppervlakte van 35 cm²), blijken een korrelige structuur te hebben. Bij de derde spiegel, die 3,5 mg barium bevat, maakt het oppervlak de indruk gevormd te zijn door gedeeltelijk samensinteren van voordien aanwezige korrels. De korrels zoals die te zien zijn op de foto's van de eerstgenoemde spiegels, hebben een diameter van ca. 0,04 μ [5]).

Uiteraard moest voor het onderzoek met de elektronenmicroscoop gebruik worden gemaakt van een replicatechniek, en wel een van zodanige aard dat de replica op de bariumspiegel kon worden gevormd in de geëvacueerde buis. Gekozen werd een methode waarbij op het object een dun SiO-

[4]) Vgl. J. E. de Graaf en H. C. Hamaker, Physica **9**, 300 en 301, 1942 en Y. Mizushima, Z. Oda en O. Ochi, J. Phys. Soc. Japan **12**, 365, 1957 (no 4).

[5]) Deze opnamen werden gemaakt door H. B. Haanstra van het Natuurkundig Laboratorium.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

huidje wordt gedampt [6]). Het mengsel Si-SiO_2 waaruit bij verhitten het SiO ontstaat, bevond zich in een soort schuitje, waarvan de wand gevormd werd door een kegelvormig gewonden wolfraamdraad. Vóór het verdampen van het barium werden schuitje en inhoud zo goed mogelijk ontgast.

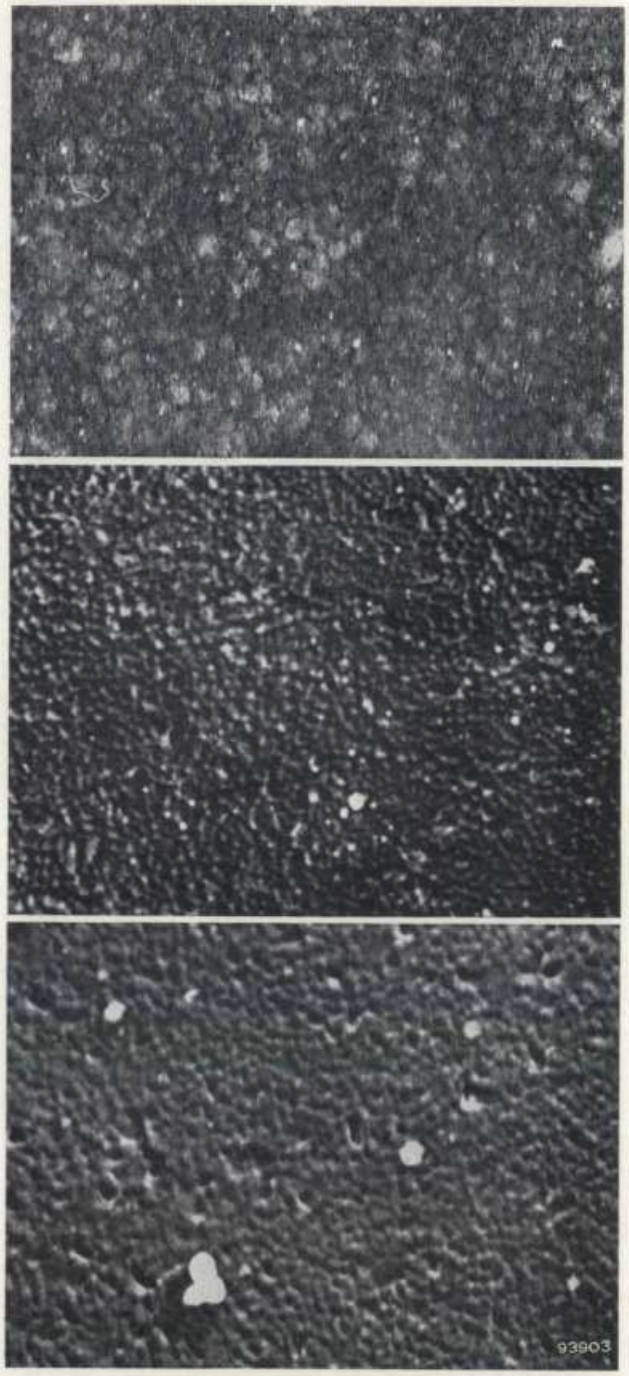


Fig. 8. Met een elektronenmicroscoop gemaakte opnamen van SiO-replica's van het oppervlak van bariumspiegels. De spiegels hadden een macroscopische oppervlakte van 35 cm² en bevatten resp. 0,9, 2,6 en 3,5 mg barium. Vergroting 80 000×.
a) Het oppervlak van de spiegel die 0,9 mg Ba bevat. Men onderscheidt duidelijk min of meer bolvormige korrels met een diameter van ca. 3 mm; de werkelijke korreldiameter is dus ca. 0,04 μ.
b) en *c*). De oppervlakken van de spiegels die resp. 2,6 en 3,5 mg Ba bevatten. De korrels zijn nog goed te onderscheiden maar zijn vooral bij de spiegel van foto *c* enigszins samengesmolten.

[6]) Zie G. Hass en N. W. Scott, J. Opt. Soc. Amer. **39**, 179, 1949.

De onderzochte bariumspiegels waren, wat de wijze van aanbrengen betreft, identiek met die waarmee de, in het volgende nog te bespreken, proeven met CO omtrent de invloed van de wandtemperatuur werden gedaan.

De invloed van de getterhouder; pompsnelheidsmetingen met waterstof

Onze opvatting dat de eigenschappen van een bariumspiegel al goeddeels vastgelegd zijn wanneer het barium zich nog dicht bij de getterhouder bevindt, steunt op een serie pompsnelheidsmetingen met waterstof.

Uit een eerste serie metingen bleek dat de snelheid waarmee een bariumspiegel waterstof wegpompt, zolang de spiegel nog niet bijna geheel verzadigd is, lineair afneemt met de hoeveelheid reeds geabsorbeerd gas. Trekt men een rechte door de gevonden waarden en verlengt men die, dan geeft het snijpunt met de as langs welke de pompsnelheid werd uitgezet, de waarde van de beginpompsnelheid a_0. Het snijpunt met de andere as geeft de capaciteit van de spiegel. *Fig. 9* toont een dergelijke meetserie met de daardoor getrokken rechte. Variatie van de grootte van de gasinlaat leverde géén noemenswaardige verandering in de waarde die voor a_0 werd gevonden, zodat a_0 voor de absorptie van waterstof blijkbaar in een flink drukgebied (de begindruk varieerde van 10 tot 100 μ Hg) constant is.

De waarde die voor de beginpompsnelheid per mg barium gevonden werd, bedroeg $(2{,}5 \pm 0{,}2) \times 10^{-2}$ l/sec mg. (De hoeveelheid barium in de spiegels variëerde van 6,3 tot 7,9 mg. De oppervlakte van de spiegels was steeds 35 cm², d.w.z. de dikte zou, indien het barium een massieve gladde laag zou vormen, tussen 0,49 en 0,61 μ liggen.)

Bij een tweede serie metingen was van te voren de ballon bedekt met een laagje kolloïdaal grafiet zodat een ruw oppervlak ontstond. Ware de bariumspiegel een gladde homogene laag, dan zou nu het aan het gas blootgestelde barium oppervlak, en daarmee de beginpompsnelheid, groter moeten zijn dan bij aanbrengen van de spiegel op een gladde buiswand. Het bleek echter dat de beginsnelheid per mg onder deze omstandigheden dezelfde waarde had als bij de eerste serie metingen [7]).

Bij een derde serie proeven werd de getterhouder opgesteld in een grote bol, zodat een spiegel ontstond die een aanzienlijk grotere macroscopische oppervlakte (186 cm²) had dan bij de twee vorige

[7]) J. Morrison en R. B. Zetterstrom, J. appl. Phys. **26**, 437, 1955, voerden een analoog experiment uit met MgO in plaats van grafiet. Ook zij vonden bij absorptie van CO geen groter waarde voor a_0 en evenmin voor de capaciteit.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

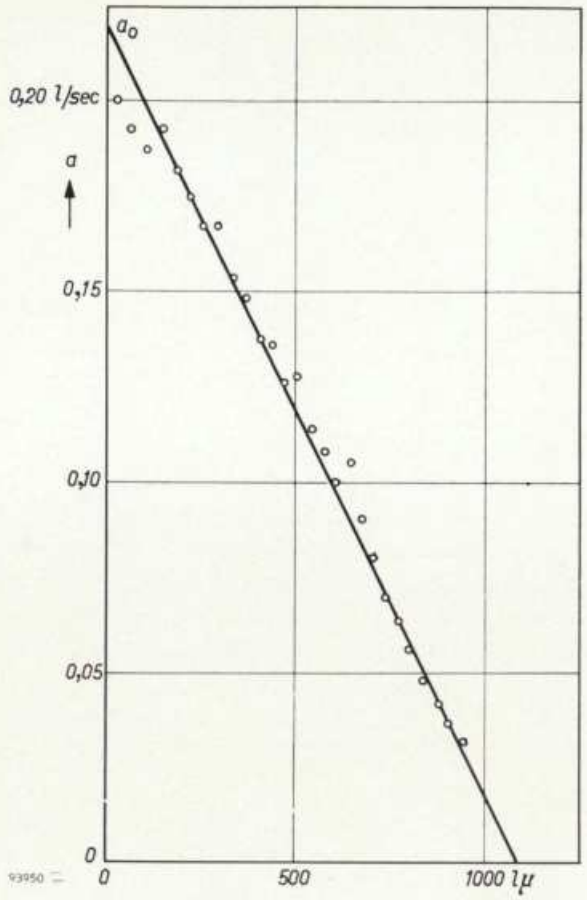


Fig. 9. De absorptie van waterstof door barium vertoont het uiterlijk van een volume-effect: de absorptiesnelheid (ordinaat) hangt lineair af van de reeds geabsorbeerde hoeveelheid gas (abscis). Verlenging van de door de meetpunten getrokken rechte levert de beginsnelheid (snijpunt met de verticale as) en de totale absorptiecapaciteit (snijpunt met de horizontale as).

series het geval was. De dikte was uiteraard evenredig kleiner en was over de gehele oppervlakte nagenoeg constant. Ook hier werd weer dezelfde waarde voor de beginpompsnelheid per mg gevonden.

Geconcludeerd mag dus worden dat in alle drie de bovengenoemde gevallen het voor gas bereikbare oppervlak (het „microscopische oppervlak") blijkbaar even groot was, hetgeen in overeenstemming is met het boven geschetste beeld van de structuur van de spiegel als poreuze stapeling van bariumbolletjes: aantal en grootte der bolletjes immers mag voor alle drie de gevallen gelijk ondersteld worden.

Hiernaast werd gevonden dat de pompsnelheid evenredig is met de totale hoeveelheid nog onverbruikt barium; er bestaat een lineair verband tussen a en de hoeveelheid reeds geabsorbeerd gas. De absorptie van waterstof toont dus het uiterlijk van een volume-effect [3]).

Bij een vierde serie metingen werd in de bovengenoemde grote bol een combinatie aangebracht van twee of drie van de bij de eerste drie series gebruikte bandgetters. Hier werd gevonden dat zowel a_0 zelf als de beginpompsnelheid betrokken op een cm² of op een mg waren afgenomen. Laatstgenoemde was bij gebruik van twee bandjes ca. $^1/_5$ en bij gebruik van drie bandjes zelfs ca. $^1/_{25}$ van wat bij de eerste drie proevenseries werd gevonden; a_0 zelf was $^1/_2$ resp. $^1/_5\times$ zo groot geworden. De laagdikte was bij de proeven met drie bandjes dezelfde als die bij de eerste serie, bij de proeven met twee bandjes iets minder dan de helft hiervan.

Het feit dat, ondanks variatie van de laagdikte, bij de eerste drie series voor de beginsnelheid per mg dezelfde waarde werd gevonden, maar bij gebruik van andere getterhouders — nl. in de vierde serie — telkens een andere, toont aan dat de eigenschappen van een toekomstige getterspiegel deels al in de buurt van de getterhouder worden vastgelegd en afhangen van het type daarvan.

Experimentele details. De bij de bovengenoemde vier series proeven gebruikte bariumspiegels werden verkregen uit exemplaren van de in fig. 2 getoonde Philips bandgetter type R1 679 36. Deze werden, om variaties in de eigenschappen tot het uiterste te beperken, genomen uit één fabricageserie. (Dit is bij alle volgende experimenten eveneens gebeurd.) Er werd niet hoogfrequent ontgast, maar wel werden bij alle proeven ballon en getterhouder, zodra hoogvacuüm verkregen was, verhit op 400 °C. Zodra de ballon weer was afgekoeld tot kamertemperatuur, werd de bariumspiegel aangebracht.

Tijdens de vorming van de spiegel werd de ballon wat warmer door het erop afkoelende barium en ten gevolge van bestraling door de gloeiende getterhouder. De verschillen hierin bij gebruik van de kleine en de grote ballon waren blijkbaar niet van invloed. De pompsnelheidsmetingen werden steeds verricht nadat de ballon weer tot kamertemperatuur was afgekoeld. *Fig. 10a* toont de getterhouders die bij de vierde proevenreeks werden gebruikt.

De afmetingen van de kleine ballon vindt men in fig. 6, die

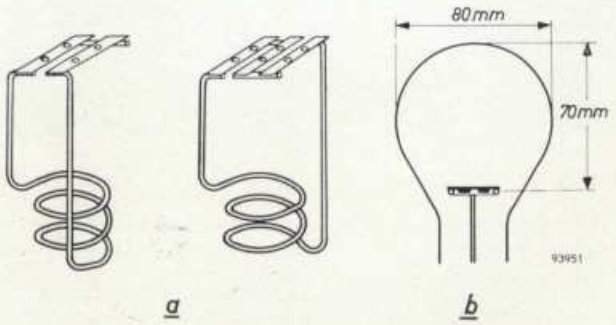


Fig. 10. *a*) Getterhouders gemaakt door combinatie van twee resp. drie bandjes, en voorzien van een spoelvormige beugel voor inductieve verhitting.
b) Maatschets van de grote ballon die gebruikt is voor het maken van een getterspiegel met groot macroscopisch oppervlak en met constante dikte.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de grote in fig. 10*b*. De plaats van de getterhouders was zo gekozen dat spiegels ontstonden met zo constant mogelijke dikte en met welgedefiniëerde randen.

De invloed van de wandtemperatuur; metingen van de absorptiecapaciteit voor CO

Het vergelijken van de grootte van het microscopisch oppervlak van bariumspiegels kan behalve door metingen van de pompsnelheid, zoals hierboven geschiedde, óók — en eenvoudiger — geschieden met behulp van metingen van de absorptiecapaciteit, mits men beschikt over een gas waarvan met zekerheid bekend is dat het geabsorbeerd wordt aan het oppervlak. Zulk een gas is koolmonoxyde [8]).

Op grond van onze, eerder in dit hoofdstuk geschetste, voorstelling van de structuur en de vormingswijze van een bariumspiegel, kan verwacht worden dat zo'n spiegel o.m. de volgende eigenschappen zal vertonen. In de eerste plaats zal de absorptiecapaciteit voor CO afnemen naarmate de temperatuur van de ballonwand tijdens het neerslaan van de spiegel hoger was. In de tweede plaats zal de absorptiecapaciteit van een spiegel die zo ijl is dat de diverse bariumbolletjes los van elkaar liggen (dus niet kunnen samensmelten!), groot zijn en weinig afhangen van de temperatuur die de ballon had tijdens het neerslaan.

Het eerstgenoemde effect ziet men duidelijk gedemonstreerd in curve *a* van *fig. 11*. In deze figuur is uitgezet de absorptiecapaciteit per mg — alle metingen, evenals met waterstof, bij kamertemperatuur — tegen de temperatuur van de ballonwand, en wel voor twee soorten spiegels (resp. bevattende 3,5 en 2,9 mg barium en afkomstig van twee typen getterhouders). Het valt op, dat de waarden die met beide soorten spiegels gevonden werden, binnen de meetnauwkeurigheid samenvallen en hoger zijn naarmate de temperatuur lager was.

De eigenschappen van spiegels die zo ijl zijn dat de bariumbolletjes los van elkaar liggen (verkregen uit een derde type getterhouder), blijken uit de metingen die in beeld gebracht worden door curve *b* van fig. 11 en door *fig. 12*. Eerstgenoemde metingen zijn gedaan aan spiegels die over een deel van hun oppervlak doorzichtig waren (0,9 mg Ba op 35 cm²), wat met de spiegels van curve *a* niet het geval was. Het verloop van de absorptiecapaciteit met de temperatuur is geheel gelijk aan dat van curve *a*, maar alle waarden liggen wat hoger, wat te begrijpen

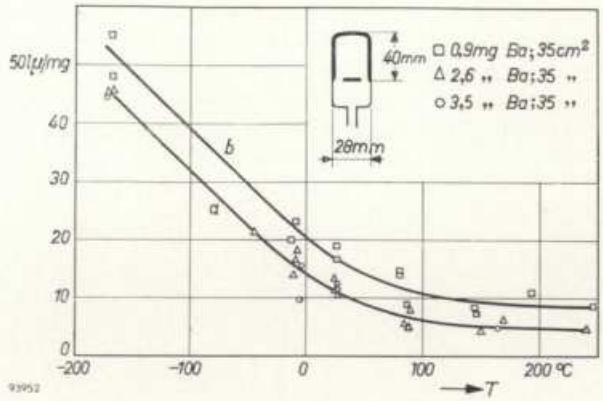


Fig. 11. Metingen van de absorptiecapaciteit voor koolmonoxyde. Uitgezet is de bij kamertemperatuur gemeten absorptiecapaciteit per mg barium tegen de temperatuur die de ballon had tijdens de vorming van de bariumspiegel. De getterhouder bevond zich steeds op 40 mm afstand van de ballonwand. De waarde die men vindt met spiegels die 3,5 en 2,9 mg barium bevatten, tonen géén significant verschil (curve *a*). Curve *b* geldt voor spiegels die slechts 0,9 mg barium bevatten.

is indien men aanneemt dat in het doorzichtige gedeelte van de spiegel de bolletjes vrij liggen.

De metingen van fig. 12 zijn gedaan aan extreem dunne spiegels (0,9 mg Ba op 262 cm²). Inderdaad is hier de absorptiecapaciteit per mg nog weer groter dan bij de proeven van fig. 11, curve *b*. Verder is, in overeenstemming met de verwachting, de absorptiecapaciteit hier vrijwel onafhankelijk van de temperatuur die de wand tijdens het neerslaan van de spiegel had.

Experimentele details. De bovengenoemde, en ook enige hieronder nog te bespreken, proeven met CO werden, zoals reeds vermeld werd, uitgevoerd met getterhouders behorend tot drie verschillende typen (Philips R1 679 50 R1 679 51 en R1 679 82). De verwarming was zodanig dat

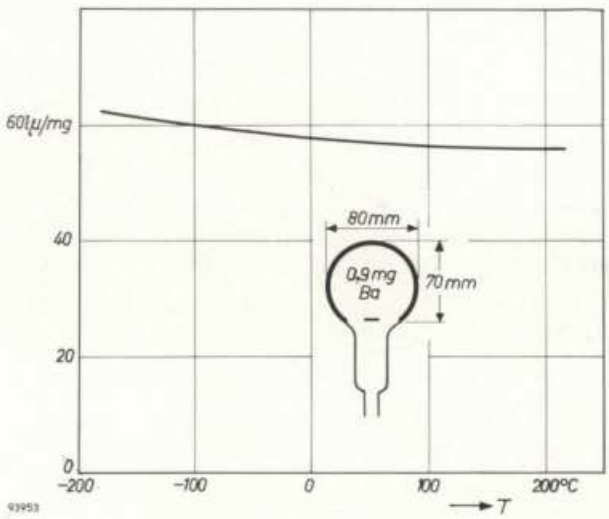


Fig. 12. De absorptiecapaciteit per mg van bariumspiegels die zo ijl zijn dat de bolletjes los van elkaar liggen. De grafiek toont dat de temperatuur die de ballonwand had tijdens de vorming van de spiegel, in dit geval bijna geen invloed heeft.

[8]) Zie S. Wagener, J. phys. Chem. **60**, 567, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de „verdampingstijd" t en de verhittingstijd T resp. 7 en 11 seconden waren [9]). Uit een aantal metingen bleek dat de onder deze omstandigheden verdampte hoeveelheden barium resp. waren 3,5 ± 0,2 mg, 2,6 ± 0,1 mg en 0,9 ± 0,1 mg.

De opstelling (zie *fig. 13*) week enigszins af van die welke bij de metingen met waterstof gebruikt werd. De hoeveelheid gas

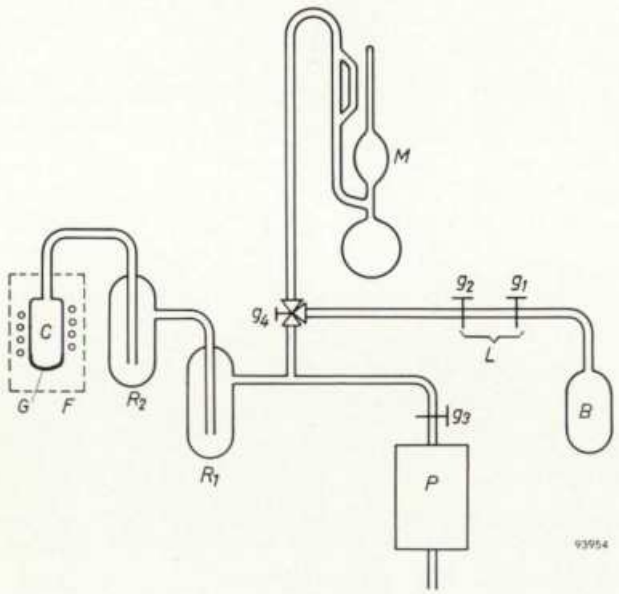


Fig. 13. Schematische voorstelling van de opstelling die gebruikt werd bij het meten van de absorptiecapaciteit voor koolmonoxyde. De letters hebben dezelfde betekenis als in fig. 6. Dank zij de aanwezigheid van de driewegkraan g_4 en de MacLeod-manometer M kan de grootte van iedere gasinlaat nauwkeurig bepaald worden. De extra koeler R_2 bleek noodzakelijk te zijn bij die experimenten waarbij de wand van de ballon C zich op een temperatuur beneden kamertemperatuur bevond. F stelt de oven resp. het koelvat voor.

die (komend uit het reservoir B via de sluis L die gevormd wordt door de kranen g_1 en g_2, en verder via de driewegkraan g_4 en de koelers R_1 en R_2) bij de bariumspiegel G toegelaten werd, kon hier tevoren bepaald worden door middel van een drukmeting met behulp van de MacLeod-manometer M. De extra-koeler R_2 werd in werking gesteld na het ontgassen (door verhitting tot 400 °C) van de ruimte C en vóór het aanbrengen van de bariumspiegel. Dit geschiedde steeds bij die proeven waarbij de ruimte C zich op een temperatuur beneden kamertemperatuur bevond en, ter controle, dikwijls ook bij de andere.

Bij de proeven omtrent de invloed van de temperatuur van de wand was de afstand van de getterhouders tot de top van de ballon steeds 40 mm, de met barium bedekte oppervlakte was steeds 35 cm².

Verdere experimenten met CO

Reeds lang is bekend dat men zeer goede getterspiegels kan verkrijgen wanneer de buis waarin de verdamping plaatsvindt, gevuld is met een inert gas van geschikte druk [10]).

[9]) Vgl. blz. 310.
[10]) A. L. Reimann, Phil. Mag. **18**, 1117, 1934. Vgl. ook het in [4]) aangehaalde artikel van De Graaf en Hamaker.

Ten einde de kwaliteit van deze spiegels kwantitatief te kunnen vergelijken met die van andere, zijn door ons experimenten gedaan die, behoudens de gasvulling van de buis, wat experimentele omstandigheden betrof, gelijk waren aan de boven besproken proeven over de invloed van de wandtemperatuur. De buis was daarbij gevuld met argon onder een druk van 6 mm Hg. De absorptiecapaciteit per mg bleek slechts weinig groter te zijn dan die welke werd gevonden bij de eerder genoemde proeven met zeer dunne spiegels.

Dit leidt tot de conclusie dat men door gebruik van de gasvulling niet de eigenschappen van een bariumgetterspiegel essentieel verbetert, maar dat men integendeel bij het verdampen onder normale omstandigheden dikwijls niet „het onderste uit de kan haalt" d.w.z. de mist van bariumdruppeltjes niet op de beste wijze op de wand opvangt.

Een verdamping in een gasatmosfeer leidt in de regel tot een zwarte spiegel. Is de gasdruk relatief laag, dan ontstaat een „normale" spiegel, die echter evenzeer een grote absorptiecapaciteit voor CO vertoont. Zojuist werd dus aangetoond dat het niet gerechtvaardigd is om de zwarte spiegels op het punt van microscopisch oppervlak te beschouwen als behorend tot een aparte klasse. Zoals reeds eerder vermeld werd, zijn de spiegels van de in de handel zijnde elektronenbuizen alle min of meer te beschouwen als verdampt door gas.

Op grond van het in de aanvang geschetste en door de reeds beschreven experimenten bevestigde beeld van de structuur en ontstaanswijze van een bariumspiegel, is het mogelijk de resultaten van de volgende, meer gecompliceerde, proeven te verklaren. Allereerst werd bij een serie proeven de afstand van de getterhouder tot de ballonwand gevarieerd. Er werd gewerkt met twee afstanden: de getterhouder op 6 resp. 40 mm van de kop van de ballon. De proeven werden verder uitgevoerd met getterhouders van de reeds eerder genoemde typen (resp. leverend 3,5 mg, 2,6 mg en 0,9 mg barium) zodat er dus zes „soorten" spiegels gemaakt konden worden. De ballon werd tijdens het verdampen van het barium niet verwarmd of gekoeld. Vier van de zes soorten spiegels bleek per mg barium voor koolmonoxyde vrijwel dezelfde absorptiecapaciteit te bezitten (12 lμ/mg). De 3,5 mg-spiegel bleek bij een afstand wand-getterhouder van 6 mm slechter te zijn (8 lμ/mg), de 0,9 mg-spiegel was bij een afstand wand-getterhouder van 40 mm beter (18 lμ/mg). In het eerste van deze twee gevallen was er per cm² véél barium aanwezig met op korte afstand van de wand de sterk stralende getterhouder. Dit leidde hoogstwaarschijnlijk tijdens het verdampen in sterker mate dan bij de andere proeven tot een verwarming van de ballonwand en van het reeds neer-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geslagen barium. Zoals we eerder vonden, heeft dit inderdaad een verminderde absorptiecapaciteit ten gevolge. In het tweede geval gold voor deze omstandigheden juist het omgekeerde.

Een opmerkelijk resultaat is verder dat men met de 2,6 mg-spiegels bij beide afstanden wand-getterhouder dezelfde absorptiecapaciteit per mg vindt, hoewel de spiegels een factor 4 in oppervlakte verschillen. Dit stemt geheel overeen met wat we vroeger vonden ten aanzien van de absorptiesnelheid voor waterstof wanneer daar de verdamping plaatsgevonden had in een kleine resp. grote ballon. Dit resultaat is een nieuwe steun voor de opvatting dat men zowel door metingen van de pompsnelheid voor waterstof als door meting van de absorptiecapaciteit voor koolmonoxyde de grootte van het voor gas toegankelijke (het „microscopische") oppervlak vindt (in relatieve maat uiteraard). De grootte hiervan is blijkbaar in hoge mate onafhankelijk van de macroscopische oppervlakte van de spiegel.

De volgende serie proeven, die we tot slot van dit hoofdstuk bespreken, zijn een herhaling van de eerder genoemde proeven over de invloed van de temperatuur van de wand, maar nu gedaan met de getterhouders (weer de genoemde drie typen) op slechts 6 mm afstand van de wand (vroeger 40 mm). De resultaten vindt men in *fig. 14*. Ter vergelijking is curve *a* van fig. 11 ook in deze figuur opgenomen. Men ziet dat de absorptiecapaciteit per mg hier, in tegenstelling tot de curven van fig. 10, bij een wandtemperatuur beneden —80 °C een maximumwaarde bereikt. Hoogstwaarschijnlijk is de sterke bestraling van de wand door de gloeiende getterhouder hiervoor verantwoordelijk. Het feit dat de gevonden waarden ook aanzienlijk lager zijn dan bij de vroegere proeven, wijst in dezelfde richting.

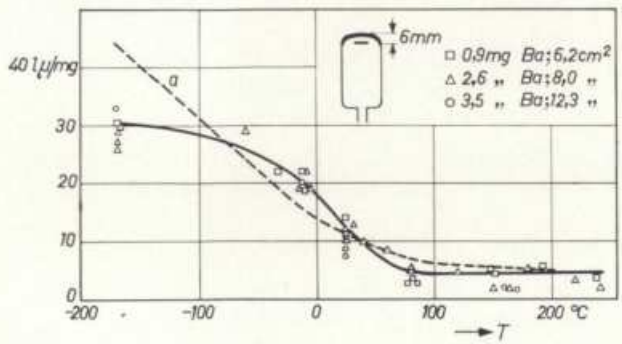


Fig. 14. De absorptiecapaciteit per mg van dikke bariumspiegels als functie van de temperatuur die de wand had tijdens het neerslaan van het barium. De meetpunten gelden evenals in fig. 14 voor de spiegels die 3,5 mg, 2,6 mg en 0,9 mg barium bevatten. De getrokken curve is aangepast bij de meetpunten van de 0,9 mg-spiegels maar past ook vrij goed bij de andere. Ter vergelijking is ook curve *a* van fig. 11 in de figuur opgenomen (stippellijn).

Merkwaardig is dat tussen —80 °C en kamertemperatuur de absorptiecapaciteit per mg groter is dan die van de dunnere spiegels van fig. 11. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door de werking van het tijdens het verdampen uit de getterhouder ontwijkende gas, want curven die betrekking hebben op later gedane experimenten met van te voren min of meer ontgaste getters, vertonen deze „bult" niet. Hieruit blijkt dat de plaats van een niet ontgaste getterhouder de kwaliteit van de spiegel op nog gecompliceerder wijze bepaalt dan uit de vorige experimenten kan worden opgemaakt; de werking van de uit de getterhouder vrijkomende gassen wordt blijkbaar niet uitsluitend bepaald door de wijze van verhitten en de aard en hoeveelheid van deze gassen.

Betrekt men de bij deze proeven gemeten absorptiecapaciteiten niet op de hoeveelheid barium maar op de macroscopische grootte van het spiegeloppervlak, dan blijkt dat bij hoge temperaturen de absorptiecapaciteiten per cm² van spiegels van alle drie de soorten tot één en dezelfde limietwaarde naderen (ca. 0,5 lμ/cm²). Merkwaardigerwijs is deze waarde groter dan die welke bij de proeven van fig. 11 (getterhouders op 40 mm afstand van de ballon) werd gevonden (ca. 0,3 lμ/cm²); zie *fig. 15*. Dit kan veroorzaakt zijn door de dun uitlopende rand van de spiegels; bij de proeven van fig. 10 was de rand van de spiegels veel scherper gedefiniëerd en dus minder storend. Dit dun uitlopen van de spiegels kan, gezien de dimensies van het geheel, zeer goed eveneens een gevolg zijn van het ontwijken van gassen tijdens de verdamping van het barium.

De reactie van barium met koolmonoxyde; berekening van de korreldiameter

Volgens Morrison en Zetterstrom [11]) zou de reactie van barium met koolmonoxyde volgens een van de drie volgende vergelijkingen kunnen verlopen:

$$Ba + CO \rightarrow BaO + C,$$
$$3Ba + 2CO \rightarrow BaC_2 + 2BaO,$$
$$Ba + 2CO \rightarrow Ba(CO)_2.$$

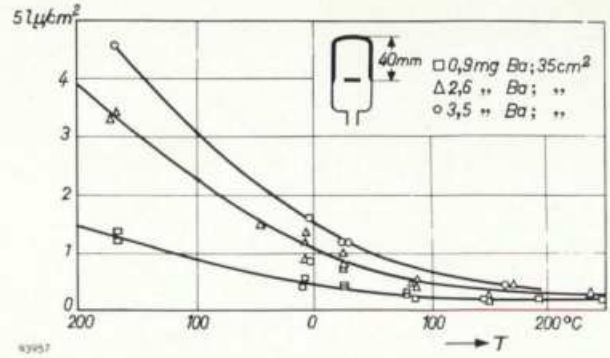
Op grond van de resultaten van een hieronder te beschrijven onderzoek zijn wij tot de conclusie gekomen dat de tweede van deze reacties degene is die werkelijk optreedt.

In een ballon die tevoren tot 400 °C verhit was geweest, werd (bij kamertemperatuur!) een bariumspiegel aangebracht. Daarna werd CO tot de spiegel toegelaten nadat deze op een temperatuur van 320 °C

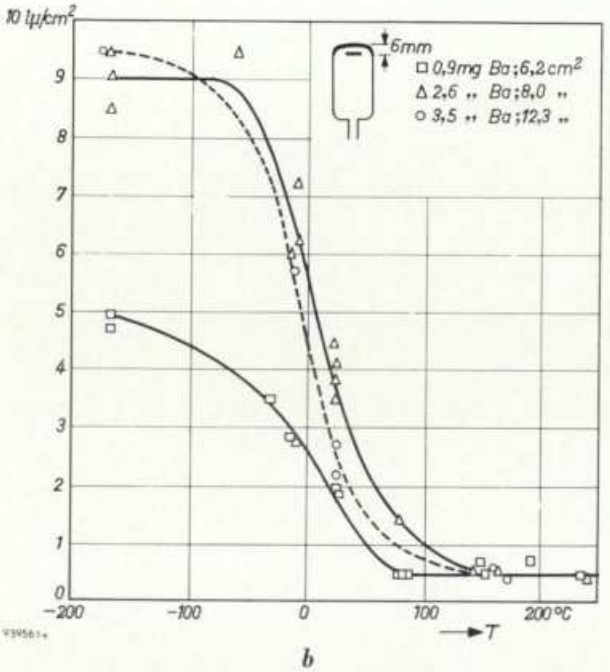
[11]) Zie blz. 440 van het onder [7]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a



b

Fig. 15. *a*) De absorptiecapaciteit per cm² (macroscopische oppervlakte) van de spiegels waarvan fig. 11 de capaciteit per mg gaf.
b) Idem voor de spiegels van fig. 14.

was gebracht. Gewacht werd tot de spiegel geen CO meer opnam [12]). Na het verwijderen van het niet opgenomen CO werd waterdamp toegelaten. Uit onderzoek van de balloninhoud met een massaspectrometer bleek dat een chemische reactie was opgetreden: behalve waterdamp was ook C_2H_2 aanwezig. Dit gas kan niet ontstaan wanneer barium en koolmonoxyde zouden reageren volgens de eerste of de derde van de genoemde reacties. Wèl kan het ontstaan uit het BaC_2 dat bij de tweede reactie werd gevormd, en wel volgens de vergelijking:

$$BaC_2 + H_2O \rightarrow BaO + C_2H_2\uparrow.$$

[12]) De temperatuur van 320 °C is enerzijds zo hoog dat het reageren van alle barium gewaarborgd is en ligt anderzijds ver genoeg onder de temperatuur waarbij de ballon ontgast werd (400 °C), om het vrijkomen van ongewenste gassen van deze wand te voorkomen.

Berekent men hoeveel CO door één mg barium gebonden kan worden indien dit plaatsvindt volgens de tweede van de bovengenoemde drie reacties, dan vindt men 81,9 lμ. Een aantal door ons uitgevoerde metingen leverde als resultaat 81 ± 7 lμ op. Ook dit wijst erop dat de absorptie inderdaad volgens de eerder genoemde reactie plaatsvindt.

Natuurlijk is hiermee nog niet bewezen dat deze reactie óók voor de CO-absorptie bij kamertemperatuur verantwoordelijk is. We hebben echter reden om aan te nemen dat dit wèl het geval is: in de eerste plaats op grond van het feit dat spiegels met groot microscopisch oppervlak ook bij absorptie van CO bij kamertemperatuur, dezelfde uiterlijke verschijnselen vertonen (doorzichtig worden met lichte bruinkleuring) en in de tweede plaats op grond van de voorlopige resultaten van een in gang zijnd onderzoek met de massaspectrometer [13]).

Van dit onderzoek wordt o.a. verwacht dat het antwoord zal geven op de vraag waarom er — naar we vonden — H_2 en CH_4 (en geen C_2H_2) ontwikkeld worden wanneer men waterdamp toelaat tot bariumspiegels die bij kamertemperatuur verzadigd zijn met CO. Dergelijke reacties met water zijn mogelijk oorzaak van het feit dat men in radiobuizen in het restgas (d.i. het gas dat niet door de getterspiegel wordt opgenomen) soms koolwaterstoffen aantreft.

Een bariumspiegel die bij kamertemperatuur „verzadigd" is met CO, absorbeert, tenzij de temperatuur verhoogd wordt, ook geen waterstof of stikstof meer. Op het oppervlak heeft zich dan blijkbaar een afsluitende laag gevormd. Uitgaande van de bovengenoemde reactievergelijking en de roosterconstante van barium (5×10^{-8} cm) kunnen we berekenen hoe dik deze laag is indien we beschikken over een meting van de absorptiecapaciteit van een spiegel waarvan de actieve oppervlakte gelijk is aan de macroscopische oppervlakte. Dit is het geval met de spiegels die bij hoge ballontemperatuur zijn gevormd. We vonden daar als limietwaarde (vgl. fig. 15) ca. 0,3 lμ/cm². Hieruit volgt dat de genoemde laag ca. 36 atoomvlakken omvat, d.w.z. ca. 18 roosterconstanten ($= 9 \times 10^{-3}$ μ) dik is (het bariumrooster is kubisch, ruimtelijk gecentreerd) [14]).

De diameter van de bariumkorrels

Nemen we aan dat het zojuist gevonden resultaat óók geldt voor de korrels uit welke we ons een (niet versmolten) bariumspiegel opgebouwd denken, dan

[13]) Dit zal te zijner tijd elders gepubliceerd worden. Bloomer (Brit. J. appl. Phys. **8**, 352, 1957 (no. 9)) meent dat de reactie verloopt volgens de eerste van de drie genoemde vergelijkingen.

[14]) S. Wagener, (J. phys. Chem. **60**, 567, 1956) vindt 27 monolagen, d.w.z. 13½ roosterconstante.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kunnen we als volgt de diameter van deze korrels berekenen.

Zij D de gemiddelde diameter van de korrels, d de diameter van de kern van de korrel die, nadat de laag gevormd is, niet aangetast kan worden, dan is de niet-reagerende fractie van de hoeveelheid barium $\frac{1}{6}\pi d^3/\frac{1}{6}\pi D^3$. Uit de metingen van de absorptiecapaciteit bij 320 °C (ca. 81 lμ/mg) en bij kamertemperatuur (bij de vroeger genoemde extreem dunne spiegel ca. 57 lμ/mg) weten we anderzijds dat deze fractie ca. 24/81 is. Een tweede betrekking tussen d en D volgt uit de bekende dikte van de laag: $D - d = 2\times 9\times 10^{-3}$ μ. De waarde van de korreldiameter D die door oplossen van deze twee vergelijkingen gevonden wordt, bedraagt ca. 0,05 μ. Rekenen wij voor de capaciteit bij kamertemperatuur met de waarde die we vonden bij de spiegels die gevormd waren terwijl zich argon in de ballon bevond (ca. 70 lμ/mg), dan vinden we voor D ca. 0,04 μ. Beide waarden stemmen goed overeen met die welke we uit de opnamen met de elektronenmicroscoop hebben afgeleid.

Rekenen we met een diameter van 0,05 μ, dan vinden we dat één mg barium verdeeld is in $4{,}13\times 10^{12}$ bolletjes. Deze hebben een totale (microscopische) oppervlakte van 325 cm² en bedekken, indien in één laag tegen elkaar gelegd, een wandoppervlakte van 89 cm².

Bij het in de praktijk toepassen van de in dit artikel vermelde resultaten moet men allereerst nagaan welke gassen door de aan te brengen bariumspiegel geabsorbeerd moeten worden. De absorptiecapaciteit voor waterstof en zuurstof hangt af van de totale hoeveelheid barium, die voor koolmonoxyde van de grootte van het microscopisch oppervlak. We vonden dat er omstandigheden kunnen voorkomen waarbij men een groter microscopisch oppervlak krijgt wanneer men minder barium verdampt.

Het is gebleken dat men ten aanzien van de pompsnelheid (en voor CO ook ten aanzien van de absorptiecapaciteit) betere resultaten verkrijgt indien het barium wordt verdampt nadat de buis afgesmolten is en zich op kamertemperatuur bevindt, dan indien zulks geschiedt terwijl de buis nog met de vacuümpomp verbonden is. De in het bovenstaande gevonden resultaten maken ook dit begrijpelijk.

Samenvatting. De eigenschappen van de bariumlaag die men aanbrengt in elektronenbuizen om gassen te binden die na het afsmelten van de buizen eventueel nog vrijkomen, hangt op gecompliceerde wijze af van de wijze waarop de laag wordt aangebracht. Men kan de invloed van de wijze van aanbrengen begrijpen door aan te nemen dat de laag uit een stapeling van meer of minder samengesmolten bariumbolletjes bestaat. Deze bolletjes ontstaan niet op het oppervlak waarop de laag zich bevindt, maar worden reeds gevormd kort nadat het barium in dampvorm de getterhouder verlaten heeft. Proeven omtrent de pompsnelheid voor H_2 die onder diverse omstandigheden optreedt, wijzen in deze richting. De auteurs schrijven dit toe aan de aanwezigheid van tegelijk met het barium uit de getterhouder ontwijkende gassen, die de bariumdamp doen condenseren tot een mist van kleine druppeltjes.

Naarmate de wand waarop deze druppeltjes neerslaan, kouder is, zullen ze minder samensmelten en heeft de bariumlaag een grotere „microscopische" oppervlakte. Proeven over de absorptiecapaciteit bij kamertemperatuur voor CO (welk gas aan het oppervlak geabsorbeerd wordt) bevestigen dit. Spiegels die zo ijl zijn dat de bolletjes elkaar niet raken — en dus niet kunnen samensmelten —, hebben een grote absorptiecapaciteit voor CO. Deze hangt in dit geval, gelijk te verwachten was, weinig af van de temperatuur die de wand tijdens de verdamping had.

Spiegels die gevormd zijn terwijl zich in de buis argon bevond (onder een druk van 6 mm Hg), hebben een absorptiecapaciteit die groot is, maar niet veel groter dan de beste „normale" spiegels. Hieruit volgt dat het verdampen door argon niet zo zeer de kwaliteit van een spiegel essentieel verbetert, maar dat men omgekeerd bij „normale" verdampingen in de regel niet het onderste uit de kan haalt d.w.z. de eerder genoemde mist niet op de beste wijze op de wand opvangt. Foto's van (een SiO-replica van) het oppervlak van bariumspiegels, gemaakt met behulp van een elektronenmicroscoop, tonen aan dat er inderdaad bolletjes aanwezig zijn en wel met een diameter van ca. 0,04 μ.

De absorptie van CO verloopt hoogstwaarschijnlijk volgens de reactie $3\ Ba + 2\ CO \rightarrow BaC_2 + 2\ BaO$. Hiervan uitgaande kan men berekenen dat de bariumlaag die omgezet wordt, ca. 18 roosterconstanten, d.w.z. 9×10^{-3} μ, dik is. Uit deze dikte, de absorptiecapaciteit van een goede bariumlaag bij kamertemperatuur en de absorptiecapaciteit van een even grote hoeveelheid barium bij 320 °C (bij deze temperatuur wordt alle barium omgezet) berekent men voor de korreldiameter 0,04 à 0,05 μ.

Ten einde de eigenschappen van een bariumspiegel gedetailleerder te kunnen beschrijven dan tot nu toe geschiedde, worden naast de grootheden pompsnelheid en absorptiecapaciteit ook de overeenkomstige, op één mg barium resp. één cm² van het met barium bedekte wandoppervlak betrokken, specifieke grootheden ingevoerd.

Ter karakterisering van de wijze waarop de getterhouders bij het verdampen van het barium verhit werden, worden de grootheden verdampingstijd en verhittingstijd ingevoerd; de doorsmeltkromme geeft aan, binnen welke tijd de verhitting gestaakt moet worden om doorsmelten van de getterhouder te vermijden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE FABRICAGE VAN SAFFIER- EN DIAMANTNAALDEN VOOR GROEFTASTERS

681.84.081.32

Groeftasters waarin gebruik wordt gemaakt van verwisselbare stalen naalden, zijn reeds op grote schaal verdrongen door groeftasters met een saffier- of diamantnaald. Een belangrijke reden hiervoor is de veel geringere slijtage van deze harde materialen. Anderzijds veroorzaken saffier- en diamantnaalden, ondanks hun zeer grote hardheid, ook een aanzienlijk geringere slijtage van de grammofoonplaat dan stalen naalden: men heeft namelijk gevonden dat zowel de vervorming van de weergave als de slijtage van de grammofoonplaat meer afhangen van de vorm van de punt van de naald dan van andere factoren, zodat men een des te beter resultaat bereikt naarmate deze punt langer zijn oorspronkelijke vorm behoudt. De foto's van *fig. 1* tonen hoe weinig naalden van saffier en diamant zelfs na honderden uren gebruik afgesleten zijn. Een stalen naald heeft reeds na het spelen van één enkele grammofoonplaat de vorm van de groef aangenomen. Een ander belangrijk voordeel van de naalden van saffier en diamant is, dat het bewegende systeem van de groeftaster een aanzienlijk kleiner traagheidsmoment kan hebben dan bij de oude typen met hun relatief zware stalen naald en houder het geval was. Bij moderne groeftasters met een naald van saffier of diamant is de effectieve massa ter plaatse van de punt van de naald slechts ca. 3 milligram, hetgeen overeenkomt met een, ten gevolge van groef-naaldresonantie optredende, afsnijfrequentie van ongeveer 20 kHz. Deze frequentie ligt ruim boven de gehoorgrens [1]).

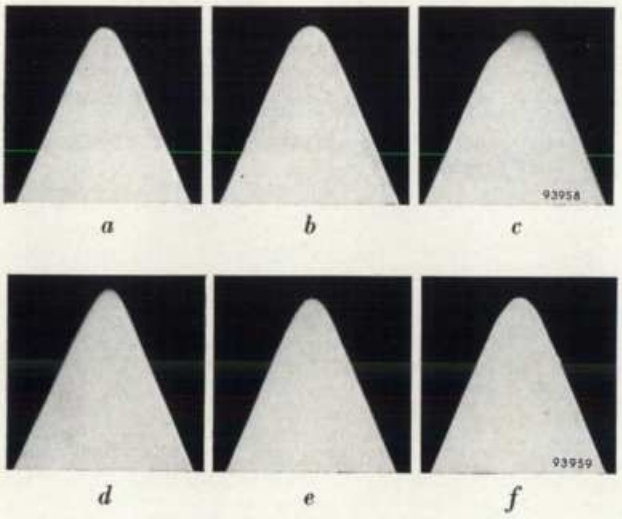


Fig. 1. Silhouetfoto's van een microgroef-saffiernaald en een microgroef-diamantnaald (straal van de punt 25 μ). De verticale kracht op de plaat bedroeg 12 gram. Voor iedere naald werd een nieuwe langspeelplaat van kunsthars genomen; deze plaat werd met dezelfde naald echter vele malen achtereen gedraaid. Opgemerkt moet worden dat onder deze omstandigheden de slijtage van de naald aanzienlijk groter is dan ooit in de praktijk kan voorkomen. De microscopische deeltjes die van de naald afkomstig zijn, zijn onder normale omstandigheden verdeeld over een groot aantal platen; hier echter zijn zij geconcentreerd in de groeven van één enkele plaat, hetgeen een aanzienlijk sterkere slijtage veroorzaakt. Het voordeel van diamant boven saffier wordt door deze foto's niet in kwantitatieve maat weergegeven; diamantnaalden kunnen een levensduur hebben die meer dan 20× zo lang is als die van saffiernaalden.
a) Ongebruikte saffiernaald. *b*) Saffier na 75 uur spelen. *c*) Saffier na 175 uur spelen. *d*) Ongebruikte diamantnaald. *e*) Diamant na 150 uur spelen. *f*) Diamant na 300 uur spelen.

Hier volgt een korte beschrijving van de vervaardiging van saffier- en diamantnaalden voor grammofoongroeftasters in Philips' Trekstenenfabriek te Valkenswaard.

De fabricage van saffiernaalden geschiedt aldus, dat cilinders van saffier ter lengte van 3 mm en met een diameter van 0,4 mm, die verkregen zijn uit dunne plaatjes synthetisch saffier, door middel van schellak vastgemaakt worden op kleine roterende asjes. Tegenover elk van deze roterende asjes staat onder een hoek van 22½° een polijstschijf, waarvan de poriën gevuld zijn met olie waarin zich diamantpoeder bevindt. De asjes en de polijstschijven draaien met grote snelheid en tegelijkertijd voeren de polijstschijven een langzame heen-en-weergaande beweging uit evenwijdig aan hun oppervlak. Men bereikt hiermede dat het polijsten gelijkmatig geschiedt (*fig. 2*).

Op deze manier verkrijgt de cilinder een conisch eind. Het proces wordt echter beëindigd voordat de conus een scherpe punt heeft, om te voorkomen dat bij de verdere behandeling breuk optreedt. De cilinder van saffier wordt dan omgekeerd en ook aan het andere einde wordt een conus geslepen. Vervolgens worden de naalden in het midden doorgebroken, afgeslepen tot een lengte van 1 mm en schoongemaakt; ze zijn dan gereed voor het afronden van de punten. Dit gebeurt door een groot aantal naalden (enige duizenden) tezamen in een fles te brengen die diamantpoeder en olie bevat; de gevulde fles wordt (liggend) in langzaam draaiende beweging gebracht. Na enige dagen blijken de punten van de naalden een bolvormige afronding te hebben verkregen. De kromtestraal van de punt is groter naarmate het

[1]) Zie voor een uitgebreide behandeling van deze problemen J. B. S. M. Kerstens, Mechanische verschijnselen bij de hogetonenweergave van groeftasters, Philips techn. T. **18**, 95-103, 1956 (no. 3), en N. Wittenberg, Een magneto-dynamische groeftaster, Philips techn. T. **18**, 113-122 en 183-188, 1956 (nos. 4 en 5-6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

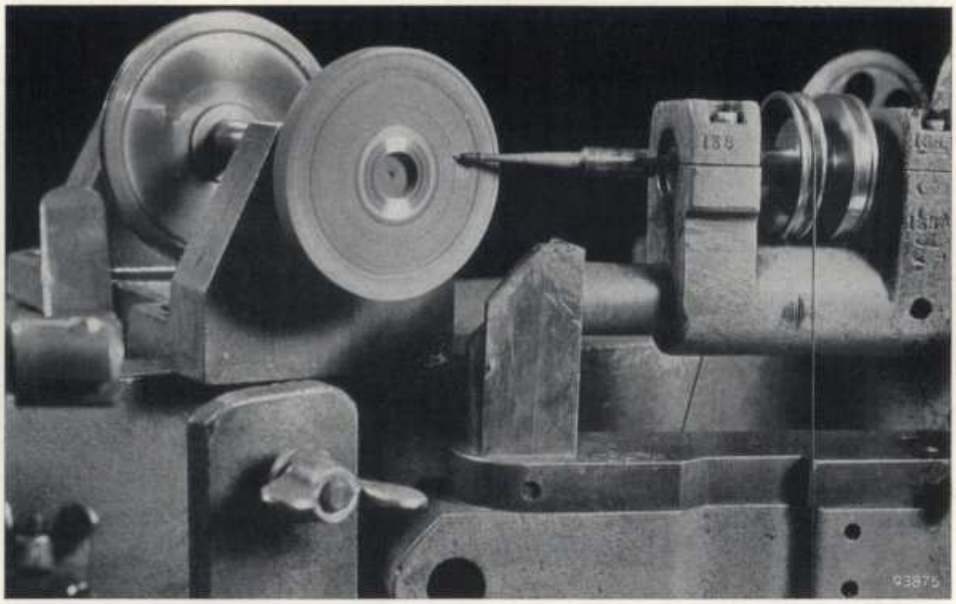


Fig. 2. Een deel van de machine voor het slijpen van conische einden aan cilinders van saffier en diamant. Met deze machine kunnen tien naalden tegelijk geslepen worden. Het geraamte van de machine wordt ondersteund door vier flexibele stalen banden. Aan één eind van de machine deelt een excentriek een langzame heen-en-weer gaande beweging mede aan het geraamte. Deze beweging vindt plaats in het vlak dat evenwijdig is aan de oppervlakken van de polijstschijf. De cilinders van saffier of diamant worden op de roterende asjes vastgemaakt door middel van schellak.

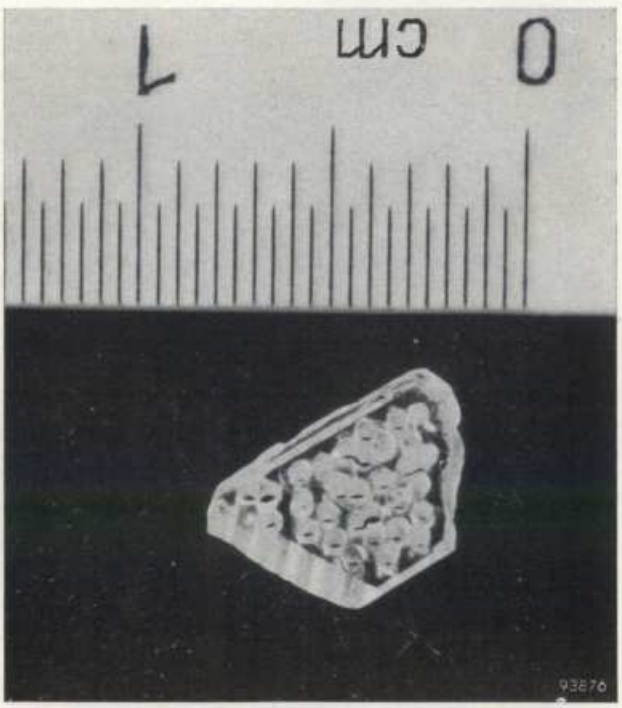


Fig. 3. Plaatje diamant, 1,6 mm dik en gesneden evenwijdig aan het (111)-vlak, waaruit cilinders met een diameter van 0,3 mm zijn geboord.

draaien van de fles langer wordt voortgezet. Het is dus niet moeilijk om punten met een zekere gewenste straal te verkrijgen (25 μ voor microgroefplaten, 75 μ voor normale platen) [2]).

Bij de fabricage van diamantnaalden worden van uitgezochte stenen evenwijdig aan het (111)-vlak plaatjes gesneden, ter dikte van 1,6 mm (*fig. 3*). Door middel van dunwandige buisjes van nikkel, die roteren met een snelheid van ongeveer 10 000 omw/min en die diamantpoeder en olie bevatten, worden uit deze plaatjes cilinders geboord met een diameter van 0,3 mm. De einden van de cilinders, die te zijner tijd de punten van de naalden zullen worden, liggen dus in het (111)-vlak. Dit vlak is gekozen om twee redenen: in de eerste plaats maakt men hiermee de slijtage gering [3]) en in de tweede plaats kunnen op deze wijze uit het natuurlijke kristal vrij grote plaatjes gesneden worden, wat het materiaalverlies beperkt. Vervolgens wordt aan de cilinder een conus geslepen op dezelfde wijze als dat bij saffier gebeurde; bij diamant duurt dit echter 10× zo lang. Het afronden van de einden kan niet geschieden met de techniek die bij saffier wordt toegepast, ten gevolge van de grote hardheid en ook

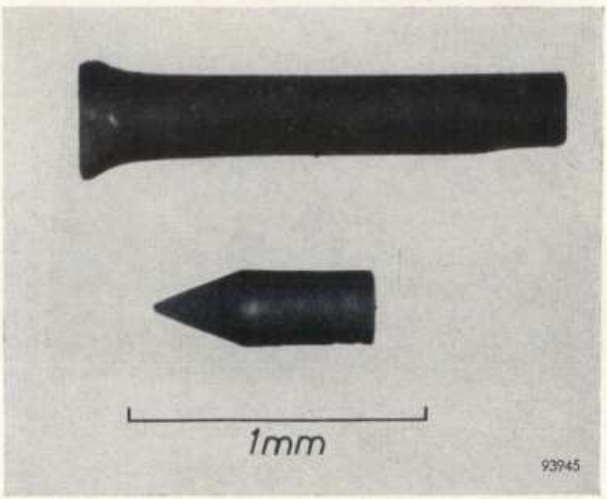


Fig. 4. Silhouetfoto van cilinder die uit het diamantplaatje wordt geboord, alsmede van gerede naald, 0,3 mm dik en 0,6 mm lang.

[2]) Dezelfde techniek wordt gebruikt voor het afronden van de randen van oscillatorkristallen van kwarts.

[3]) Zie b.v. L. Schultink, H. L. Spier en A. J. van der Wagt, Philips techn. T. **16**, 87-94, 1954.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

omdat de massa van de diamantnaalden aanzienlijk geringer is. Naalden van diamant worden derhalve met de hand afgerond op een speciale polijstschijf. Het roterende asje waarop de naald is aangebracht, wordt verwijderd uit de machine die de conus heeft geslepen (de zg. voorslijpmachine) en geplaatst in de afrondmachine; laatstgenoemde machine is uitgerust met een microscoop, zodat men kan volgen wat er gebeurt. Het afronden vereist ongeveer 1 minuut. Daarna wordt het diamanten cilindertje omgekeerd op het roterende asje aangebracht en opnieuw in de voorslijpmachine geplaatst enz. Nadat het cilindertje in tweeën gebroken en schoongemaakt is, zijn de naalden gereed om gemonteerd te worden. *Fig. 4* geeft een indruk van de afmeting van de cilinder van diamant en van de gerede naalden.

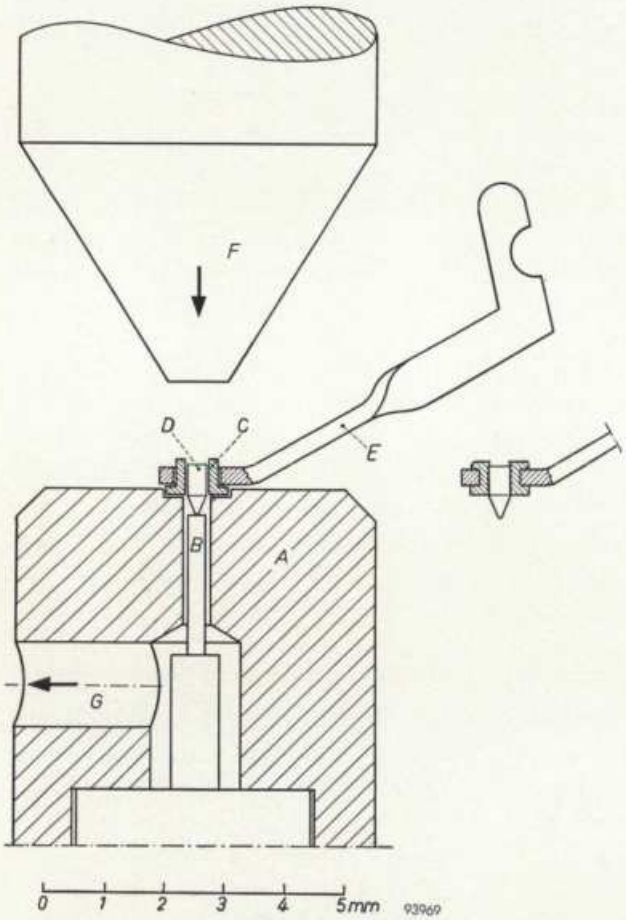


Fig. 5. Schets van felsgereedschap (ongeveer 8× ware grootte) *A* felsblok. *B* stuitpen („aanslag"). *C* aluminium busje *D* naald. *E* naaldarm. *F* stempel. *G* vacuümleiding.

Van de oorspronkelijke diamant kan ten hoogste de helft verwerkt worden tot cilinders van de vereiste afmetingen. Van de restanten maakt men diamantpoeder. Het diamantpoeder dat bij het slijpen wordt gebruikt, wordt zoveel mogelijk teruggewonnen door middel van bij de slijpmachines geplaatste schermen. Het teruggewonnen poeder wordt schoongemaakt en door middel van centrifugeren gesorteerd naar korrelgrootte; het kan dan opnieuw gebruikt worden. Men verkrijgt op deze wijze meer poeder dan bij het slijpen nodig is. Het overschot (in hoofdzaak behorend tot de fijnste soorten) wordt gebruikt voor andere doeleinden, b.v. voor polijsten in de metallografie.

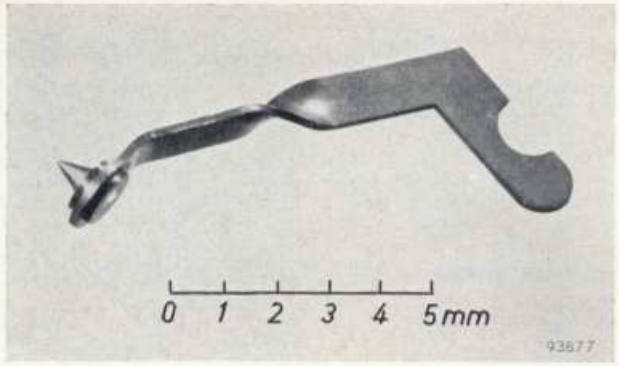


Fig. 6. Gerede naald gemonteerd op naaldarm.

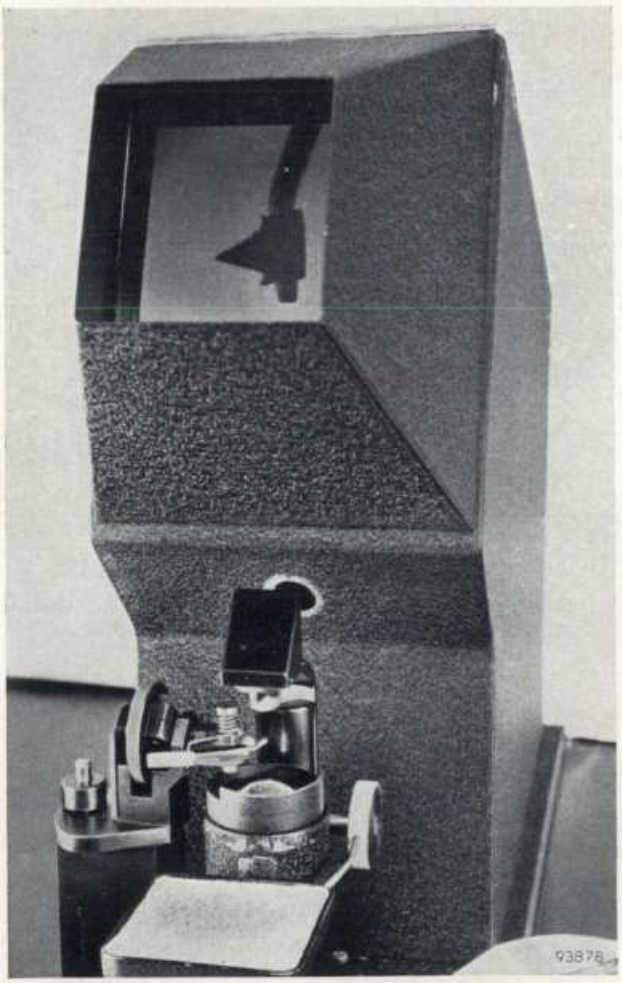


Fig. 7. Projectiemicroscoop (vergroting 50×) voor het individueel onderzoek van gemonteerde saffier- en diamantnaalden. De drie lijnen op het scherm dienen voor controle van de afmetingen en van de stand van de naald ten opzichte van de naaldarm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het op de naaldarm monteren geschiedt voor beide soorten naalden door middel van dezelfde techniek. Een klein aluminium busje wordt op een hol felsblok geplaatst, dat zich in een kleine pers bevindt (*fig. 5*). Men maakt hierbij gebruik van een nikkelen buisje met een inwendige diameter van 0,3 mm, waardoor lucht wordt aangezogen (pincetten zijn voor het werken met zulke kleine voorwerpen niet bijzonder geschikt). Door het genoemde felsblok wordt eveneens lucht gezogen. De luchtdruk en de dimensies van het felsblok zijn zodanig gekozen dat het busje van de nikkelen buis wordt overgenomen en in de juiste positie gebracht. Daarna wordt een naald in het busje gebracht met de punt naar beneden; de naald wordt door de lucht zo ver naar binnen gezogen dat hij stuit op een pen („aanslag"), zodat men zeker is dat alle naalden even ver onder de naaldarm uitsteken. Ten slotte wordt deze laatste om het busje gebracht en de pers in werking gesteld. Men verkrijgt op deze wijze een zeer stevige bevestiging van de naald (*fig. 6*).

Alvorens de fabriek te verlaten, worden de gemonteerde naalden stuk voor stuk gecontroleerd door middel van een matig sterk vergrotende projectiemicroscoop (*fig. 7*).

A. W. PLOEGSMA.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2468: H. J. Oskam: Enige aspecten van de hoogfrequente gasontlading (Ned. T. Natuurk. **23**, 1-15, 1957, no. 1).

Het mechanisme van ontladingen welke met velden van een hoge frequentie tot stand worden gebracht, verschilt in een aantal opzichten van dat van de gelijkstroomontlading. De energieoverdracht aan de elektronen door een hoogfrequent elektrisch veld kan met de energieoverdracht door een constant veld in verband worden gebracht door invoering van het zg. equivalente veld. Het γ-mechanisme van de elektrodes is voor de gelijkstroomontlading principieel noodzakelijk, terwijl dit bij de hoogfrequente ontlading meestal slechts een ondergeschikte invloed heeft. Worden de elektronen in de gelijkstroomontlading hoofdzakelijk door het veld weggevoerd, bij de hoogfrequente ontlading verdwijnen ze door diffusie naar de wanden, recombinatie in het gas en aanhechting. Door toepassing van de hoogfrequentietechniek blijkt het mogelijk diverse grootheden met behulp van nieuwe methodes te meten.

2469: J. A. Haringx: Design of corrugated diaphragms (Trans. Amer. Soc. Mech. Engrs. **79**, 55-64, 1957, no. 1).

In een drietal voorafgaande publikaties (deze overzichten nos. **1960**, **2104*** en **2389**) heeft de auteur uiteengezet hoe men de stijfheid van gegolfde membranen, de spanningen in het materiaal en het niet-lineaire verband tussen de belasting en de uitwijking van het membraan kan berekenen. In het onderhavige artikel voert hij enige beperkingen in, die niet van fundamentele aard zijn, maar die het probleem zo ver vereenvoudigen dat het mogelijk wordt een grafiek te vervaardigen waaruit de afmetingen van een membraan dat aan gegeven eisen moet voldoen, rechtstreeks kunnen worden afgelezen. Met een voorbeeld wordt het gebruik van de grafiek toegelicht.

2470: M. J. Sparnaay: Zur Deutung der Hückel-Krafftschen Zusatzglieder in der Debye-Hückelschen Theorie der starken Elektrolyte (Z. phys. Chem. (Frankfurt a.M.) **10**, 156-160, 1957, no. 3-4).

In de klassieke theorie van de elektrolyten wordt een grootheid $\varkappa$ ingevoerd die de dimensie heeft van een lengte, de Debye-Hückel-lengte, en die men gewoonlijk interpreteert als de gemiddelde afstand tussen de positieve en de negatieve ionen. Eén van de onderstellingen waarop de theorie berust, is dat de afmetingen der ionen verwaarloosd mogen worden. Brengt men in rekening dat de ionen door aanhechting van watermoleculen (hydratatie) tot deeltjes van niet te verwaarlozen afmetingen uitgroeien, dan blijkt voor de grootheid $\varkappa$ een correctie noodzakelijk te zijn. Het doel van het onderhavige artikel is, een eenvoudige interpretatie te geven van de correctietermen.

2471: M. J. Sparnaay: Non-equilibrium diffuse double-layer (Trans. Faraday Soc. **53**, 306-314, 1957, no. 3).

De concentraties van de positieve en negatieve ionen als functie van de plaats in het diffuse gedeelte van de elektrische dubbellaag bij een elektrode

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

die zich in een elektrolyt bevindt, worden in de stroomloze toestand beheerst door de potentiaalvergelijking van Poisson en de verdelingsfunctie van Boltzmann. De concentratieverdelingen zullen worden verstoord als een stroom vloeit. Voor twee geïdealiseerde gevallen wordt deze storing berekend. Ook het wisselstroomgeval wordt behandeld. Het blijkt dat in praktische gevallen de storingen verwaarloosbaar klein zijn.

2472: D. Hofman, J. A. Lely en J. Volger: The dielectric constant of SiC (Physica **23**, 236, 1957, no. 3).

De diëlektrische constante ε van SiC werd bepaald door metingen aan zeer zuivere kristallen met een wisselstroombrug volgens Schering. De metingen werden uitgevoerd bij 20 °K en 77 °K en bij een aantal frequenties tussen 1 kHz en 100 kHz. Hieruit volgt $\varepsilon = 10{,}2 \pm 0{,}2$.

2473: P. C. van der Willigen en L. F. Defize: Das Lichtbogenschweissen von Stahl mit CO_2 als Schutzgas (Schweissen und Schneiden **9**, 50-59, 1957, no. 2).

De inhoud van dit artikel komt vrijwel overeen met die van een publikatie in „Lastechniek" (zie no. **2394** van deze overzichten). Er is echter een tabel toegevoegd waarin de mechanische eigenschappen, verkregen bij lassen met verschillende draaddiameters en bijbehorende stromen, op overzichtelijke wijze zijn samengevat.

2474: A. van Weel: Implications of phase precompensation in a television transmitter on the shape of the radiated signal (J. Brit. Instn. Rad. Engrs. **17**, 129-134, 1957, no. 2).

In een televisiebeeld kunnen, na plotselinge overgangen van donker naar licht, vegen optreden die te wijten zijn aan fazefouten in de ontvanger. Deze vegen kunnen worden gecompenseerd door tegengestelde uitwijkingen („witter-dan-wit") in het ontvangen signaal, die in het videofrequentiedeel van de zender worden teweeggebracht door een fazecompenserend netwerk. Bij een systeem met negatieve modulatie kan zo'n „witter-dan-wit"-signaal slechts in de beschikbare modulatieruimte worden ondergebracht door het witniveau van de normale waarde van 10% tot ten minste 20% te verhogen. Dit komt overeen met een verlies van 30% van het nominale zendvermogen. De kromming van de modulatiekarakteristiek maakt een volledige compensatie onmogelijk. Bij een systeem met positieve modulatie moet de uitgangstrap van de zender impulsen kunnen leveren die 22% boven het normale witniveau uitkomen.

2475: R. Dijkstra en J. de Jonge: The ortho/para distribution of methylol groups in the reaction of phenol and formaldehyde, II (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **76**, 92-100, 1957, no. 1).

Beschrijving van een potentiometrische methode voor de kwantitatieve bepaling van orthomethylolfenol. De methode is gebaseerd op de zure eigenschappen van het complex dat wordt gevormd door orthomethylolfenol en boorzuur. De methode werd toegepast om, in de reactie van fenol met formaldehyde, de verdeling van de methylolgroepen over de ortho- en de paraplaatsen in de fenolkern te bepalen.

A 1: A. Rabenau: Perowskit- und Fluoritphasen in den Systemen ZrO_2-$LaO_{1,5}$-MgO und ZrO_2-$LaO_{1,5}$-CaO (Z. anorg. allgem. Chem. **288**, 221-234, 1956, no. 3-4).

In het systeem ZrO_2-La_2O_3-MgO komt een ternaire verbinding voor waarvan de samenstelling is $La(Zr_{0,5}Mg_{05})O_3$. Deze verbinding, die de perofskietstructuur bezit, vertoont een nauw existentiegebied. Vervangt men het MgO door CaO, dan blijkt in het dan verkregen ternaire systeem een analoge verbinding op te treden, nl. $La(Zr_{0,5}Ca_{0,5})O_3$. Deze laatste verbinding vormt echter een volledige reeks mengkristallen met $CaZrO_3$. In de binaire randsystemen ZrO_2-La_2O_3, ZrO_2-MgO en ZrO_2-CaO van de betrokken twee ternaire systemen treden fazen op met de kubische fluorietstructuur. Echter blijkt noch de fluorietfaze van ZrO_2 met MgO, noch die van ZrO_2 met CaO, noemenswaardig mengbaar te zijn met de fluorietfaze van ZrO_2 met La_2O_3. Wel kan in de laatstgenoemde faze, als deze de samenstelling $ZrO_2 : La\,O_{1,5} = 1 : 1$ heeft MgO, oplossen tot ca. 50 mol.-%. Dit wordt verklaard doordat — zoals blijkt uit het optreden van superstructuurlijnen in de röntgendiffractiediagrammen — hier een bijzondere structuur optreedt, die waarschijnlijk van het pyrochloortype is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!